

VALUTAZIONE DELLE ATTIVITA' DI ESCAVO DEL MICROTUNNEL TAP CON RIFERIMENTO ALLE POPOLAZIONI E ALLA NIDIFICAZIONE DELLE TARTARUGHE MARINE:

APPROCCIO PRECAUZIONALE, STRATEGIA DI MONITORAGGIO ED
 INTERVENTO IN CASI DI RILEVAMENTO



0	16-04-2018	<i>Fulvio Maffucci – Stazione Zoologica – A. Dohrn</i> <i>Sandra Hochscheid – Stazione Zoologica A. Dohrn</i> <i>Claudia Ciotti – Ecoreach srl</i> <i>Ettore Nepote - Ecoreach srl</i> <i>Francesca Marcellini - Ecoreach srl</i>	    
Rev.	Data	Autori	Firme

Introduzione:	2
Sommario esecutivo.....	3
1. Le tartarughe marine del Mediterraneo	5
1.1 Aree di nidificazione	7
1.2 Aree di nursery	10
1.3 Aree oceaniche di alimentazione	13
1.4 Aree neritiche di alimentazione	14
1.5 Corridoi migratori	15
1.6 Fedeltà al sito di nidificazione e home range.....	17
1.7 Struttura demografica	18
1.8 Output riproduttivo.....	20
1.9 Fattori di stress e minacce per le tartarughe marine in ambiente terrestre	22
1.10 Fattori di stress e minacce per le tartarughe marine in ambiente marino	23
2. Sistema uditivo e risposta a rumore e vibrazioni	25
2.1 Morfologia apparato uditivo delle tartarughe marine.....	25
2.2 Risposta comportamentale delle tartarughe marine ai suoni	26
2.3 Danni fisici derivanti dal disturbo acustico	28
3. Le tartarughe marine in Adriatico	29
3.1 Utilizzo dell'habitat e rotte migratorie in Adriatico	29
3.2 Cause di stress e disturbo alle tartughe marine in Adriatico	32
4. Le tartarughe marine nell'area di interesse San Foca-Meledugno	34
4.1 Caratteristiche dell'area	34
4.2 Nidificazioni	36
4.3 Impatti antropici.....	39
5. Valutazione del potenziale stress su tartarughe marine durante le attività di perforazione del microtunnel	41
6. Interventi di mitigazione del potenziale stress e identificazione delle condizioni di sicurezza	45
7. Attività di monitoraggio in situ proposta durante l'escavo.....	46
8. Procedure di emergenza in caso di rilievo di tartarughe nell'area di interesse.....	48
9. Conclusioni	49
10. Riferimenti bibliografici	52
Appendice: <i>Analisi delle vibrazioni e del rumore prodotti in fase escavo del Microtunnel del Progetto TAP</i>	

Introduzione:

Il progetto Trans Adriatic Pipeline (TAP) ha come scopo la realizzazione di un gasdotto che importerà gas naturale da nuove fonti nella regione del Mar Caspio sino all'Europa Sud-Orientale e Occidentale attraverso il Corridoio Meridionale del Gas. Il gasdotto partirà dalla Grecia, attraverserà l'Albania e il Mar Adriatico approdando in Italia Meridionale, consentendo così al gas di fluire direttamente dalla regione del Mar Caspio verso i mercati dell'Europa Sud Orientale e Occidentale.

In Italia il progetto è costituito da un tratto offshore di circa 45 km, un tratto a terra di circa 8,2 km e da un Terminale di Ricezione Gas (noto anche come PRT) nel comune di Melendugno, in provincia di Lecce. L'approdo del gasdotto sarà situato presso la costa, tra San Foca e Torre Specchia Ruggeri, nel comune di Melendugno e sarà realizzato mediante l'utilizzo della tecnologia del microtunnel per minimizzare le interferenze con la costa. La necessità di dover effettuare i lavori di perforazione in sotterranea del microtunnel durante il periodo estivo, possibilità inizialmente esclusa in fase di Valutazione di Impatto Ambientale, ha richiesto un'analisi delle possibili interferenze che tali lavorazioni potrebbero avere con la eventuale nidificazione estiva delle tartarughe marine nell'area di interesse.

Il presente Studio è stato quindi predisposto per valutare ogni possibile implicazione dello svolgimento di attività di escavo del microtunnel del Progetto TAP nel periodo estivo con le popolazioni e nidificazioni di tartarughe marine. Si tratta dello studio più completo ed approfondito mai eseguito nell'ambito della regione Puglia. La relazione contiene dati esaustivi ed aggiornati relativamente a biologia, ecologia e fisiologia delle tartarughe marine di interesse per l'area dei lavori. Lo studio contiene inoltre dati con aggiornamento senza precedenti per i fenomeni di spiaggiamento, le cause, le casistiche di nidificazione e le statistiche di schiusa. Il report inoltre incrocia i dati prodotti nell'approfondito studio ingegneristico, condotto dal Professor Riccardo Castellanza, titolare della cattedra di Ingegneria Geotecnica presso l'Università Bicocca di Milano, allegato alla presente relazione e relativo alla produzione di rumori e vibrazioni durante le operedi escavo. I dati prodotti sono stati sia misurati in situ su microtunnel analoghi a quelli previsti da TAP, sia con modelli di propagazione di rumore e vibrazioni nelle operazioni di escavo.

La presente relazione integra tutte queste informazioni con approccio olistico e precauzionale andando a identificare costantemente le condizioni più cautelative a favore delle componenti biologiche. Lo studio si è spinto altresì a valutare condizioni di eventuali interazioni indirette o remote ed a proporre interventi utili ad escludere anche le condizioni più improbabili al fine di tutelare al meglio ogni singolo esemplare che dovesse avvicinarsi a costa e deporre le uova.

Lo studio definisce inoltre interventi di monitoraggio attivo ed intensivo, interventi di mitigazione e di intervento in emergenza ed ogni altra possibile eventualità.

Le valutazioni di carattere ecologico riportate nel presente documento sono oggettive, verificabili e basate su dati di letteratura, meta-analisi e nuove informazioni. Tutti i riferimenti bibliografici e le fonti citazionali, oltre ai dati relativi alla propagazione del rumore e delle vibrazioni prodotte in fase di trivellazione (rif. Appendice: Analisi delle vibrazioni e del rumore prodotti in fase escavo del Microtunnel del Progetto TAP), sono accurati e accertabili.

Sommario esecutivo

Due specie di tartarughe marine nidificano regolarmente nel Mediterraneo, la tartaruga comune (*Caretta caretta*, Linnaeus 1758) e la tartaruga verde (*Chelonia mydas*, Linnaeus 1758). In Puglia sono stati registrati solo nidi di *Caretta caretta* (17 nidi in totale dalla prima segnalazione avvenuta nel 1973 di cui 7 lungo l'intera costa adriatica pugliese e tra questi 4 nell'area costiera del Salento lato Adriatico). L'area oggetto dell'attività di escavo del microtunnel non è pertanto classificabile quale sito di deposizione regolare della tartaruga comune. Inoltre le condizioni ambientali non appaiono ideali per lo sviluppo embrionale se si considera che 2 dei 4 nidi non hanno dato alla luce piccoli di tartarughe e per 1 è stata necessaria la traslocazione in altro sito a causa delle caratteristiche non idonee della spiaggia. Il periodo di massima probabilità di nidificazione è compreso tra 15 giugno e 30 luglio e ricade all'interno di quello previsto per l'escavo del microtunnel TAP. L'analisi dei dati di spiaggiamento indica un impatto significativo dell'attività di pesca responsabile di oltre il 75% dei ritrovamenti. L'area è anche caratterizzata da intenso traffico marittimo che può rappresentare una minaccia importante per le tartarughe marine (5.5% degli spiaggiamenti riportati in Puglia). Solo nella provincia di Lecce, dal 1985 al 2016, sono stati recuperati spiaggiati o raccolti in difficoltà 776 esemplari che se da un lato dimostra la presenza delle tartarughe marine nel ambiente di foraggiamento costiero, dall'altro indica un alto livello di impatto delle attività antropiche già in essere nell'area sulle tartarughe marine. Studi di elettrofisiologia condotti su tartarughe verdi e tartarughe comuni indicano che i range di frequenze percepiti sono rispettivamente di 200-700 Hz (massima sensibilità intorno ai 400 Hz) e di 250-1000 Hz (massima sensibilità a 250 Hz), mentre quelli emessi dalla testa fresante sono quasi interamente compresi tra 10 e 20 Hz. Inoltre, gli animali appaiono entrare in uno stato di agitazione se esposti a fonti di disturbo di intensità >175 dB re 1 μ Pa rms. Risposte di *avoidance* attivo a circa 30 m dalla sorgente sonora sono state indotte in questi animali mediante l'emissione di onde di intensità pari a circa 220 dB re 1 μ Pa a 1 m nel range di frequenza 25-1000 Hz. Nel caso della testa fresante, il rumore in acqua (rif. Appendice: Analisi delle vibrazioni e del rumore prodotti in fase escavo del Microtunnel del Progetto TAP) sarà trascurabile e paragonabile a quello associato al rumore di fondo o a microtremori del suolo. In termini di vibrazioni, si stima inoltre che la velocità di picco delle vibrazioni prodotte dal moto ondoso registrata in condizioni di mare medie è 0.054 mm/s. Questo valore di fondo potrebbe rappresentare la condizione di vibrazione a cui sono generalmente esposte le uova di tartaruga deposte nel bagnasciuga; tale valore registrato in condizioni naturali, risulta essere 1.38 volte superiore di quello determinato in fase di scavo dalla testa fresante. La sorgente di rumore, inoltre, è pressoché continua e questo fattore, unito alla bassa intensità del suono, è da considerarsi positivamente poiché le tartarughe mostrano la tendenza ad assuefarsi rapidamente ai segnali sonori. Inoltre, il posizionamento della trivella è prevista essere a profondità tali da non determinare impatto o alterazione a nidi, habitat di foraggiamento o corridoi migratori delle tartarughe. Le attività di cantiere, iniziando almeno quindici giorni prima dell'inizio del periodo di nidificazione fanno sì che la testa fresante ed il relativo fronte di scavo si troveranno presumibilmente a oltre 100 m da costa su fondali superiori a 5-10 m e sotto circa 15 m di sedimento. Questo determinerà un significativo attenuamento di ogni rumore o vibrazione con conseguenze di fatto trascurabili su questi organismi sia nella fase di avvicinamento

a costa sia per le uova eventualmente deposte. In questo rapporto sono descritti, con approccio precauzionale, anche le modalità di mitigazione di tutte le principali fonti di eventuale stress sulla biologia e riproduzione della specie *Caretta caretta* nell'area. Inoltre viene definito un piano di monitoraggio in situ e in fieri da condurre durante l'intera durata del periodo di nidificazione e una procedura di intervento in urgenza in caso di rilevamento di individui in prossimità della costa o sulla spiaggia o di identificazione di nuovi nidi.

1. Le tartarughe marine del Mediterraneo

Due specie di tartarughe marine nidificano regolarmente nel Mediterraneo, la tartaruga comune (*Caretta caretta*, Linnaeus 1758) e la tartaruga verde (*Chelonia mydas*, Linnaeus 1758). Entrambe le popolazioni costituiscono delle unità di gestione regionale indipendenti (Regional Management Unit, RMU) su un totale, rispettivamente, di 11 e 17 RMU identificate per le due specie a livello globale (Wallace et al. 2010). La tartaruga comune è praticamente presente in tutto il bacino mentre la distribuzione della *Chelonia mydas* è prevalentemente limitata al settore orientale (Casale & Margaritoulis 2010). Gli ambienti di foraggiamento del Mediterraneo, soprattutto quelli offshore sono condivisi con un numero significativo di giovani *Caretta caretta* di origine Atlantica che entrano nel Mediterraneo attraverso lo Stretto di Gibilterra durante la fase di sviluppo oceanico (Maffucci et al. 2006b, Monzon-Arguello et al. 2009, Carreras et al. 2011, Clusa et al. 2013b, Karaa et al. 2016). La popolazione mediterranea di tartaruga comune è caratterizzata da una minore taglia delle femmine adulte rispetto a quanto riportato in letteratura per le altre unità riproduttive (Kamezaki 2003). Peculiarità non riscontrata invece per le femmine di tartaruga verde (Seminoff et al. 2014). Una terza specie, la tartaruga liuto (*Dermochelys coriacea*, Vandelli, 1761), è avvistata sporadicamente nel Mediterraneo (Casale et al. 2003) ed è utilizzata esclusivamente per scopi alimentari. Del tutto occasionale, dato il numero complessivo degli avvistamenti, è da ritenersi la presenza della tartaruga di Kemp (*Lepidochelys kempii*, Garman, 1880) o della tartaruga olivacea (*Lepidochelys olivacea*, Eschscholtz, 1829) (Tomas et al. 2003, Carreras et al. 2014) dati *Stazione Zoologica*).

Nel Mediterraneo, le tartarughe marine sono state oggetto di un intenso sfruttamento commerciale fino agli anni 70 del secolo scorso. Attività di pesca dedicate specificamente alla cattura di questi animali per la vendita a scopo alimentare erano presenti soprattutto nel bacino di Levante (Sella 1982). L'adozione della Convenzione Internazionale sul commercio delle specie di flora e fauna selvatiche minacciate di estinzione (CITES, 1981) e l'inclusione delle tartarughe marine nella lista rossa dell'Unione Mondiale per la Conservazione della Natura (IUCN, 1982) ha promosso l'adozione di strumenti legali per la protezione delle tartarughe marine nel Mediterraneo, interrompendo di fatto lo sfruttamento legale di queste specie. Più recentemente, l'Unione Europea ha emanato una serie di direttive e regolamenti volti a tutelare e conservare gli habitat naturali e la fauna selvatica, tra cui anche le tartarughe marine. L'Italia ha dato attuazione a tali direttive con proprie leggi ed ha aderito e ratificato le Convenzioni internazionali che vincolano il nostro paese alla tutela concreta delle specie di tartarughe marine presenti nei mari italiani. La Tabella 1 schematizza l'inclusione delle specie, regolarmente presenti nei mari italiani, negli allegati di tali strumenti legislativi.

Il crescente interesse delle agenzie ambientali, delle organizzazioni non governative (NGO) e del pubblico in generale per lo stato di conservazione delle tartarughe marine (Campbell & Smith 2006, Campbell 2007) e l'attenzione della comunità scientifica per la comprensione dei tanti aspetti criptici della biologia ed ecologia di queste specie nel Mediterraneo, hanno fatto da sprone ad un'intensa attività di conservazione e ricerca negli ultimi 30 anni (Hamann et al. 2010, Rees et al. 2016). Di seguito si riporta una sintesi aggiornata delle informazioni disponibili sulle tartarughe marine nel Mediterraneo.

Tabella 1 Normativa a tutela delle tartarughe marine (Adattata dal documento “Linee guida per il recupero, soccorso, affidamento e gestione delle tartarughe marine ai fini della riabilitazione e per la manipolazione e rilascio a scopi scientifici” (MLG 89, 2013).

Nome della specie	Be2	Cms1	Cms2	Cit	I	Ha II	Ha IV	Asp 2	R.1967
<i>Caretta caretta</i>	*	*	*	*A	*	*	*	*	*
<i>Chelonia mydas</i>	*	*	*	*A	*	*	*	*	*
<i>Dermochelys coriacea</i>	*	*	*	*A	*	*	*	*	*

Legenda:

- **Be2** = Allegato II della Convenzione relativa alla conservazione della vita selvatica dell'ambiente naturale in Europa (Convenzione di Berna), 1979
- **CMS1/CMS2** = Appendice I e II Convenzione sulla conservazione delle specie migratorie appartenenti alla fauna selvatica (Convenzione di Bonn), 1979
- **Cit I** = Appendice I della Convenzione sul commercio internazionale delle specie di fauna e flora selvatiche minacciate di estinzione, 1973
- **Ha II/Ha IV** = Allegato II e Allegato IV della Direttiva Habitat 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche
- **Asp2** = Annesso 2 del Protocollo relativo alle Zone Particolarmente Protette e alla Diversità Biologica nel Mediterraneo della Convenzione di Barcellona (Protocollo ASPIM), 1995
- **R. 1967** = Regolamento (CE) n. 1967/2006 del Consiglio del 21 dicembre 2006 relativo alle misure di gestione per lo sfruttamento sostenibile delle risorse della pesca nel mar Mediterraneo e recante modifica del regolamento (CEE) n. 2847/93 e che abroga il regolamento (CE) n. 1626/94

1.1 Aree di nidificazione

La distribuzione delle aree di nidificazione delle tartarughe marine nel Mediterraneo è stato oggetto di diverse review negli ultimi anni (Groombridge 1990, Margaritoulis et al. 2003, Casale & Margaritoulis 2010). Nel Mediterraneo sono presenti sia siti che supportano elevati numeri di nidi diffusi su ampi tratti di costa quanto spiagge di dimensioni relativamente modeste con altissime densità di nidificazione (Casale & Margaritoulis 2010). A questi si aggiungono, inoltre, un numero significativo di siti di nidificazione minore (<20 nidi anno⁻¹) oltre ad alcune nidificazioni occasionali in aree esterne all'areale riproduttivo. Nel Mediterraneo sono state identificate 52 e 13 aree maggiori di nidificazione rispettivamente per la tartaruga comune e per la tartaruga verde (Figura 1, Casale & Margaritoulis 2010).

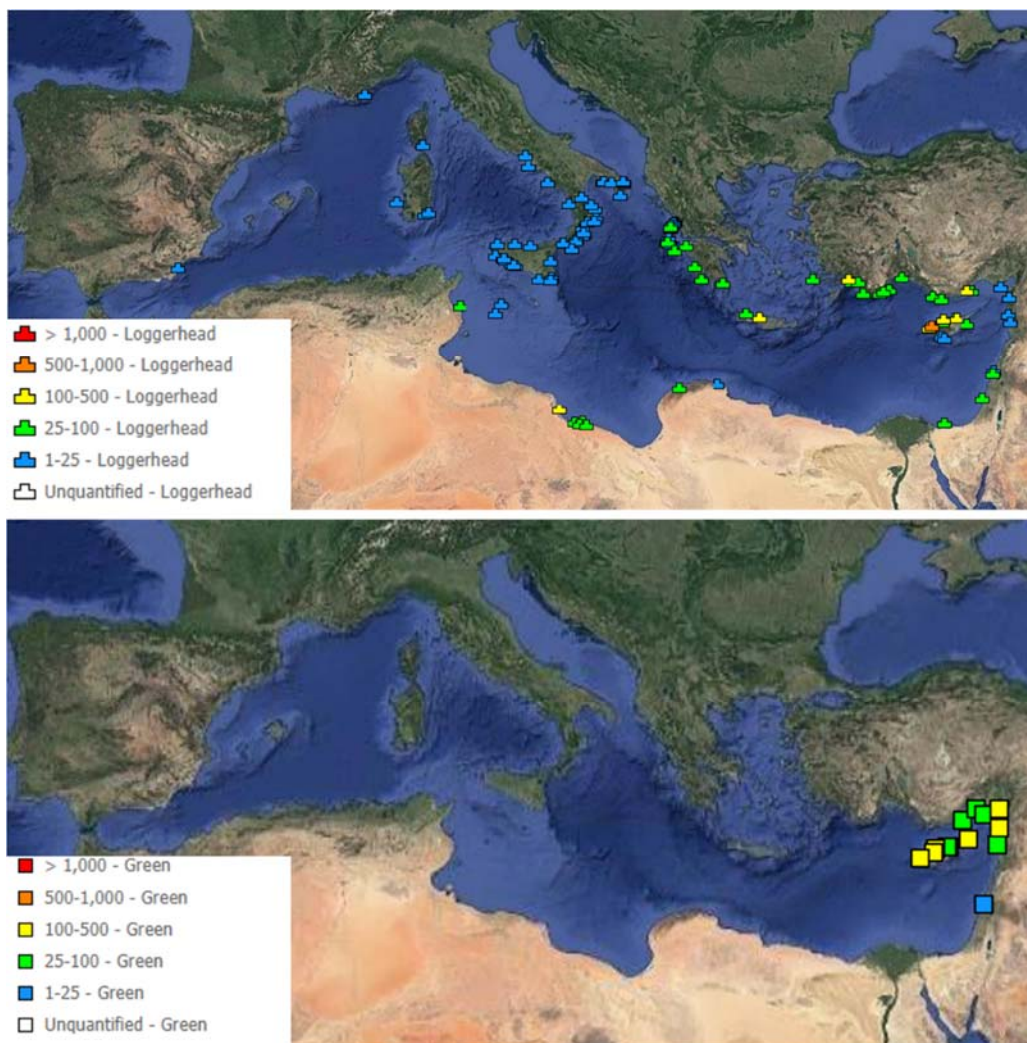


Figura 1. Distribuzione dei siti di nidificazione della tartaruga marina comune (riquadro superiore – legenda “loggerhead”) e della tartaruga verde (riquadro inferiore – legenda “green”) nel Mediterraneo (Figure modificate da <http://seamap.env.duke.edu/swot>. SWOT Report - State of the World's Sea Turtles, vol. X (2015), da Halpin et al (2009)

In sintesi, non sono mai stati riportate deposizioni di tartaruga marina in Algeria, Marocco, Principato di Monaco e nell'Adriatico orientale (Albania, Bosnia ed Erzegovina, Croazia, Montenegro, Slovenia) (Casale & Margaritoulis 2010). Tutti gli altri paesi del bacino Mediterraneo ospitano siti di nidificazioni anche se con densità ed abbondanze molto variabili (Casale & Margaritoulis 2010). In alcuni siti principali quali Cipro, la Grecia e la Turchia, il monitoraggio della nidificazione delle tartarughe marine è condotto con regolarità dagli anni '70 o '80, per cui si posseggono dati attendibili circa la densità e l'abbondanza dell'attività di nidificazione ed i trend temporali. In altre aree, come ad esempio l'estesa costa sabbiosa della Libia, le informazioni sul numero di nidi effettivamente deposti sono solo parziali e costituiscono un importante gap conoscitivo ai fini dell'efficace gestione delle specie nel bacino mediterraneo (Hamza 2010).

Oltre il 96% delle deposizioni di *Caretta caretta* avviene in Grecia, Turchia, Libia e Cipro. I siti che ospitano il maggior numero di nidi per anno sono l'isola di Zante, Kyparissia Bay, Belek, Anamur e Chrysochou Bay (Margaritoulis et al. 2003, Casale & Margaritoulis 2010). Altri siti di nidificazione regolare, anche se con livelli molto inferiori ai precedenti, sono presenti in Egitto, Israele, Italia, Libano, Siria e Tunisia (Margaritoulis et al. 2003, Casale & Margaritoulis 2010). Recentemente è stato osservato un incremento del numero di nidificazioni nel Mediterraneo occidentale ed in particolare lungo le coste peninsulari italiane, che potrebbe essere collegato al cambiamento climatico in atto (Maffucci et al. 2016, Carreras et al. 2018, Figura 2). In questo bacino è stata riportata anche la nidificazione più settentrionale della specie a livello globale (Sénégal et al. 2009). Complessivamente, il numero medio di nidi di *Caretta caretta* deposti annualmente nel Mediterraneo è di circa 7200 per anno (Casale & Margaritoulis 2010)

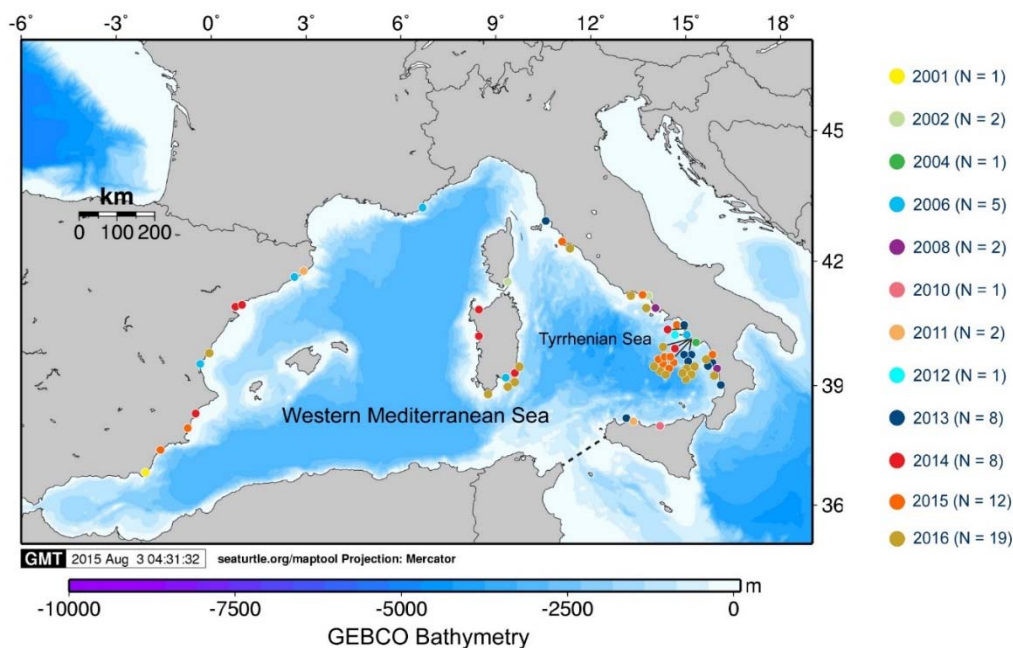


Figura 2. Nidificazioni occasionali di tartaruga marina comune avvenute nel Mediterraneo occidentale tra il 2001 ed il 2016 (Immagine modificata da Maffucci et al. 2016).

Per quanto concerne la tartaruga verde, i 13 principali siti di nidificazione si trovano in Turchia, Cipro e Siria (Casale & Margaritoulis 2010, Figura 1). La spiaggia di Akyatan (Turchia) ospita da sola circa il 20% del numero totale di nidificazioni registrate nel Mediterraneo. Numeri minori di nidi sono documentati in Egitto, Libano e Israele. La nidificazione più occidentale di *Chelonia mydas* è stata registrata a Rethymno, Creta (Grecia) nel 2007 (Margaritoulis & Panagopoulou 2010). Complessivamente il numero medio di nidi di tartaruga verde documentati nel Mediterraneo è di 1500 per anno (Casale & Margaritoulis 2010).

1.2 Aree di nursery

Le tartarughe marine possiedono un complesso ciclo vitale che consta di una serie di stadi ontogeneteci segregati nel tempo e nello spazio. Subito dopo l'emersione dal nido, i neonati di tartaruga marina entrano in mare e devono raggiungere le aree di nursery oceaniche, cioè poste oltre il limite della piattaforma continentale (isobata di 200 m), dove rimarranno per tutta la prima fase di sviluppo della durata di qualche anno. Questa prima dispersione è guidata, almeno nei mesi iniziali, prevalentemente dal sistema di circolazione superficiale. Nel Mediterraneo la localizzazione delle aree di nursery oceaniche utilizzate dalle giovani *Caretta caretta* di taglia inferiore ai 40 cm di lunghezza curvilinea, è ancora in larga parte sconosciuta (Casale & Mariani 2014). Due studi hanno monitorato, mediante strumenti di telemetria satellitare, gli spostamenti di piccole tartarughe *Caretta caretta* nel Mediterraneo Occidentale, dimostrando l'ampio utilizzo di questo bacino e la capacità dei giovani esemplari di attraversare il canale di Sicilia e raggiungere il Mar Ionio (Eckert et al. 2008, Abalo-Morla et al. 2018). Tutte le altre informazioni sulla localizzazione delle aree di nursery oceaniche derivano prevalentemente dalle simulazioni numeriche della dispersione dei piccoli di tartaruga marina (Hays et al. 2010, Casale & Mariani 2014, Maffucci et al. 2016).

In sintesi, questi lavori suggeriscono che il bacino levantino sia un'importante zona di nursery per le tartarughe originarie dei siti orientali di nidificazione mentre quelle provenienti dalla Grecia e dalle altre aree di nidificazione presenti nel Mediterraneo centrale utilizzano principalmente il Mar Ionio, il Mediterraneo centro-meridionale e il Mar Adriatico con una dispersione nel settore occidentale trascurabile, almeno nei primi mesi di vita (Figura 3).

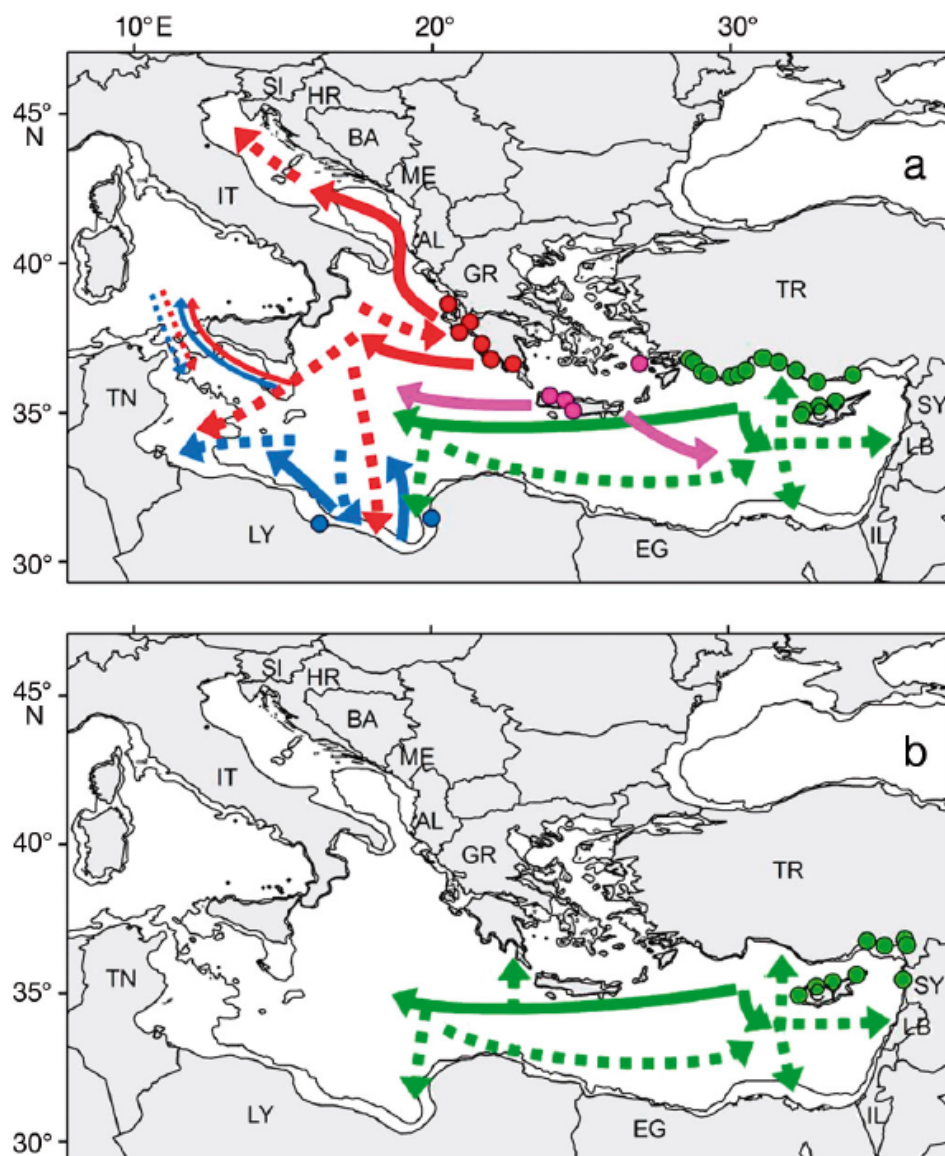


Figura 3. Modello di distribuzione dei giovani di *Caretta caretta* (a) e di *Chelonia mydas* (b) nel Mediterraneo, derivato dalla simulazione numerica della dispersione dei neonati (Immagine modificata da Casale & Mariani 2014).

Questo risultato è confermato anche dalle simulazioni della dispersione dei neonati dai siti di nidificazione eccezionale nel Mediterraneo Occidentale che permangono in questo settore del bacino dove possono incontrare condizioni potenzialmente sfavorevoli alla loro sopravvivenza (Maffucci et al. 2016, Figura 4).

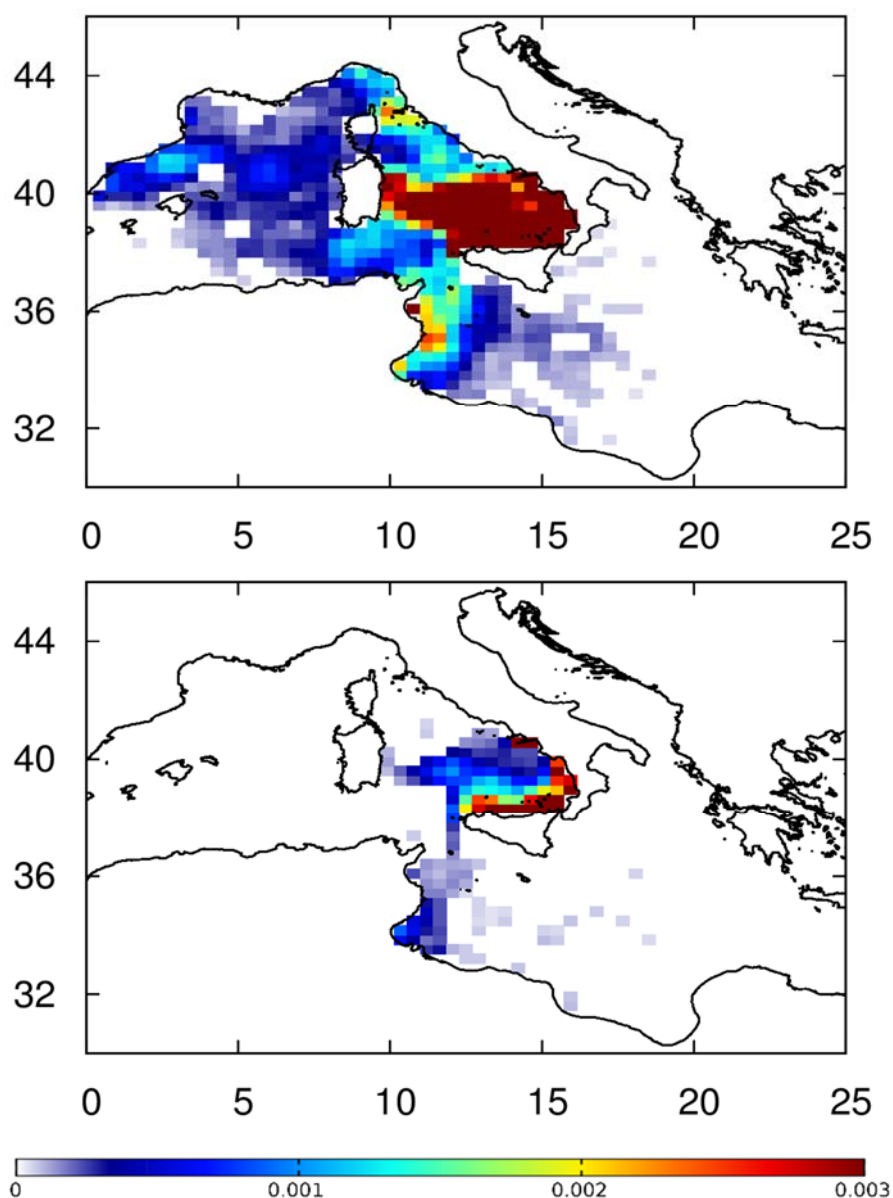


Figura 4. Simulazione della dispersione dei neonati dalle spiagge del Tirreno meridionale nel 2007 (riquadro superiore) e nel 2013 (riquadro inferiore) (Immagine modificata da Maffucci e al 2016).

Le simulazioni numeriche della dispersione dei giovani di tartaruga verde suggeriscono che il bacino levantino sia la principale area di nursery per questa popolazione (cfr Capitolo 3 relativo alle rotte migratorie delle tartarughe nell'area di interesse, Figura 5).

1.3 Aree oceaniche di alimentazione

Le aree oceaniche sono utilizzate dalle tartarughe marine anche in fasi successive del loro ciclo vitale in virtù di un'elevata plasticità comportamentale che consente di alternare stili alimentari di tipo pelagico a quelli più propriamente neritici adottati da giovani di grossa taglia ed adulti. Le tartarughe marine, in particolare i giovani, si trovano praticamente in tutte le aree oceaniche del Mediterraneo. Le informazioni derivanti dagli studi di genetica (Carreras et al. 2006, Clusa et al. 2013b, Karaa et al. 2016), telemetria satellitare (Revelles et al. 2007) e marcatura (Revelles et al. 2008) convergono nell'indicare una forte influenza del sistema di circolazione superficiale nella distribuzione delle tartarughe marine nel Mediterraneo.

Il modo migliore per ottenere stime dell'abbondanza delle tartarughe marine nelle aree oceaniche sono le indagini aeree (aerial survey) ma i costi elevati hanno limitato fortemente il loro utilizzo nel Mediterraneo. Aerial survey sono stati condotti nella zona sud-occidentale della Spagna (de Segura et al. 2006), all'interno del santuario Pelagos (Lauriano et al. 2011) ed in Adriatico (Holcer et al. 2015). Sebbene diversi fattori biologici e alcune differenze nei parametri tecnici adottati nei diversi studi rendano non immediato il confronto tra i risultati ottenuti, appare evidente una maggiore presenza di tartarughe marine nell'area oceanica spagnola e in Adriatico rispetto alla zona settentrionale compresa tra le coste italiane e quelle francesi. Solo in quest'ultima è stata inoltre evidenziata la presenza di stagionalità nell'abbondanza delle tartarughe con numeri maggiori nel periodo estivo rispetto a quello invernale (Lauriano et al. 2011).

Ulteriori informazioni circa la distribuzione e l'abbondanza delle tartarughe marine comuni nelle aree oceaniche possono essere desunte dall'analisi dell'interazione con i palangari pelagici superficiali. Il più alto numero di catture per unità di sforzo (CPUE) da parte di questi attrezzi (circa 1 tartaruga per ogni 1000 ami) è stato osservato nella parte più occidentale del Mediterraneo (Marocco, Spagna meridionale e Isole Baleari), nello stretto di Sicilia/Ionio Meridionale e nello Ionio settentrionale/Adriatico Meridionale, mentre è dieci volte inferiore nel Tirreno e nella parte settentrionale del bacino occidentale (Casale 2011).

Poche sono invece le informazioni disponibili circa la fase di sviluppo giovanile delle tartarughe verdi. Considerata la distribuzione dei siti di nidificazione ed i sistemi di circolazione superficiale locali è presumibile che i giovani di questa specie si concentrino nel bacino orientale ed in particolare nel Mar Levantino (Casale & Margaritoulis 2010). Tuttavia, tartarughe verdi giovanili (≤ 40 cm CCL) sono state ritrovate in Grecia (Margaritoulis & Panagopoulou 2010), nell'Adriatico (Lazar et al. 2004, Bentivegna et al. 2011) e in rare occasioni nel settore occidentale del Mediterraneo (Bentivegna et al. 2011). L'analisi genetica suggerisce che questi esemplari sono probabilmente di origine atlantica (Carreras et al. 2014).

1.4 Aree neritiche di alimentazione

Con l'aumentare della taglia le tartarughe marine tendono a spostarsi verso aree neritiche di foraggiamento per completare lo sviluppo. Gli ambienti di alimentazione neritici sono quindi utilizzati prevalentemente da esemplari di *Caretta caretta* di taglia maggiore rispetto a quelli presenti nelle aree oceaniche, inclusi gli adulti.

Nel Mediterraneo, la transizione dall'ambiente oceanico a quello costiero avviene ad una taglia minore rispetto ai conspecifici Atlantici. La sintesi delle informazioni derivanti dall'analisi dei dati sugli spiaggiamenti, le catture accidentali, il monitoraggio satellitare e la marcatura consente di individuare le principali aree neritiche di alimentazione sulla piattaforma africana antistante le coste della Tunisia e della Libia, nell'Adriatico centro settentrionale e nella parte più orientale del bacino levantino, al largo della Turchia, della Siria e dell'Egitto (Margaritoulis et al. 2003, Casale et al. 2012a, Casale et al. 2012b, Casale et al. 2012c, Casale et al. 2012d, Snape et al. 2016, Rees et al. 2017).

Anche nel Mediterraneo occidentale sono state identificate aree neritiche assiduamente frequentate dalle tartarughe marine *Caretta caretta* ed in particolare la piattaforma continentale spagnola (Cardona et al. 2009), la zona circostante le Isole Baleari (Carreras et al. 2004) e le coste sud-occidentali dell'Italia (Hochscheid et al. 2013).

Per quanto concerne le tartarughe verdi, le poche informazioni disponibili, prevalentemente ottenute dall'analisi dell'interazione con gli strumenti da pesca, indicano che le principali aree neritiche sono localizzate nel settore di levante del Mediterraneo lungo la costa della Turchia, della Siria, di Israele e dell'Egitto. Altre importanti aree di foraggiamento sono state identificate in Libia e Grecia (Casale & Margaritoulis 2010).

1.5 Corridoi migratori

Le tartarughe marine utilizzano nel corso del loro ciclo vitale ambienti diversi segregati nello spazio e nel tempo. L'identificazione dei corridoi migratori, cioè i passaggi preferenziali che collegano tali ambienti, è essenziale per la corretta gestione delle specie e si basa essenzialmente sui risultati degli studi di telemetria satellitare. La maggior parte dei dati riguarda le migrazioni post riproduttive degli adulti dalla zona di nidificazione all'area di foraggiamento (Luschi & Casale 2014, Mingozi et al. 2016).

I maschi migrano prima delle femmine in quanto abbandonano il sito di riproduzione alla fine della stagione dell'accoppiamento (maggio e giugno) mentre queste ultime permangono nell'area per la fase di deposizione che coincide prevalentemente con i mesi di luglio ed agosto (Margalitoulis et al. 2003).

Le difficoltà logistiche di individuare gli adulti nelle aree neritiche di foraggiamento e di monitorarli per l'intera durata della fase riproduttiva sono alla base del minor numero di dati riguardanti le migrazioni precedenti la fase di accoppiamento (Zbinden et al. 2008, Hays et al. 2010b, Schofield et al. 2010a, Casale et al. 2013a, Mingozi et al. 2016, Snape et al., 2016).

La Figura 5 illustra le principali rotte migratorie di questi organismi.

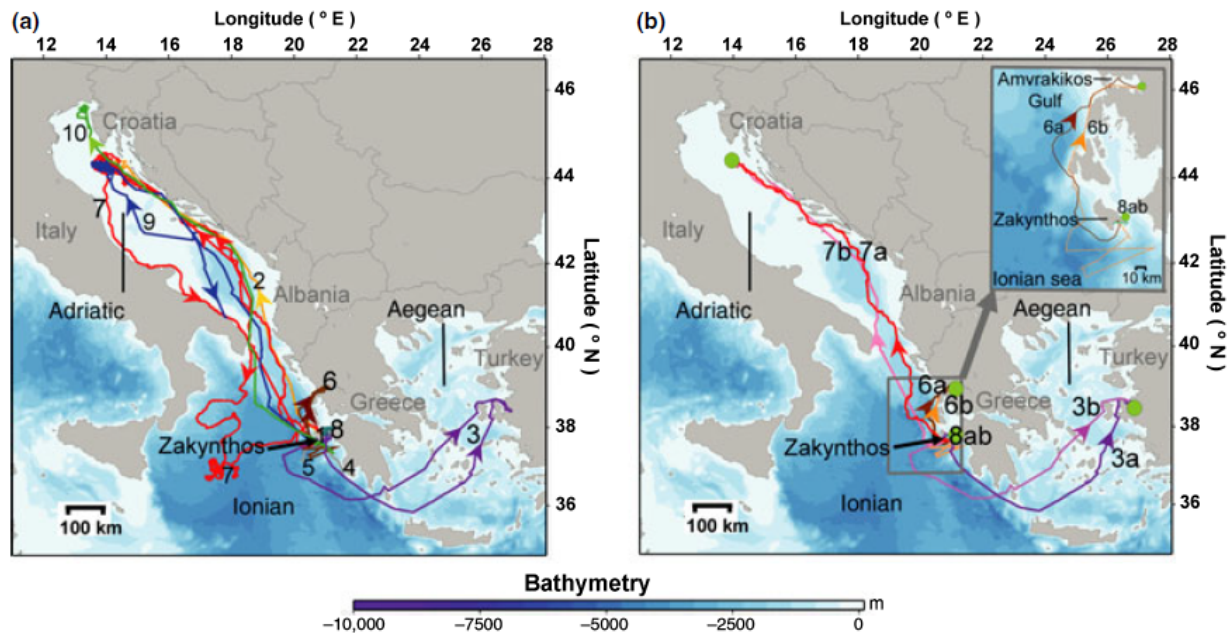


Figura 5. Rotte migratorie di 10 maschi adulti di *Caretta caretta* dall'aria di accoppiamento di Zante verso i diversi ambienti di foraggiamento (a) con i percorsi seguiti dagli stessi individui in anni successivi (b) (Immagine modificata da Schofield et al 2010).

In generale, la coerenza tra le rotte adottate dalle tartarughe marine è bassa, per cui i corridoi migratori risultano relativamente ampi, soprattutto quando gli animali attraversano estesi tratti di mare tra l'area di deposizione e quella di foraggiamento (Broderick et al. 2007, Schofield et al. 2010a).

Corridoi migratori obbligati sono inoltre i passaggi fisici che collegano i diversi bacini del Mediterraneo quali lo Stretto di Messina, il Canale di Sicilia ed il Canale di Otranto. I primi due sono associati alle migrazioni stagionali che le tartarughe compiono per lasciare il freddo Mediterraneo Occidentale durante i mesi invernali (Bentivegna 2002, Hochscheid et al. 2005, Casale et al. 2012a).

Lo Stretto di Otranto è un corridoio fondamentale per la migrazione post riproduttiva delle femmine che nidificano in Grecia e si spostano verso le aree di foraggiamento presenti in Adriatico a fine estate (Zbinden et al. 2011). Per quanto riguarda le tartarughe verdi, i principali corridoi migratori sono stati individuati tra la Turchia e l'Egitto e lungo le coste settentrionali dell'Africa (Stokes et al. 2015).



1.6 Fedeltà al sito di nidificazione e home range

Una delle caratteristiche più conosciute delle tartarughe marine è la loro fedeltà al sito di nidificazione (filopatria) anche se le femmine possono utilizzare siti di riproduzione secondari nel corso della stessa stagione riproduttiva o in anni successivi (Broderick et al. 2003, Casale et al. 2013a, Schofield et al. 2010b, Schofield et al. 2013).

L'estensione dell'area utilizzata durante la stagione riproduttiva è molto variabile, dai circa 10 km² utilizzati dalle femmine che nidificano nella baia di Laganas, a Zante in Grecia, agli oltre 400 km² degli individui che depongono lungo le coste israeliane (Fuller et al. 2008, Schofield et al. 2010b, Levy et al. 2017). Nel sud della Calabria, le tartarughe si spostano in ambiente offshore anche a distanze superiori ai 140 km dalla spiaggia dove hanno deposto (Mingozzi et al. 2016). Nel Mediterraneo occidentale, il monitoraggio satellitare di due femmine nel periodo di internesting ha evidenziato spostamenti anche di oltre 150 km (dati Stazione Zoologia Anton Dohrn non pubblicati, Figura 6).

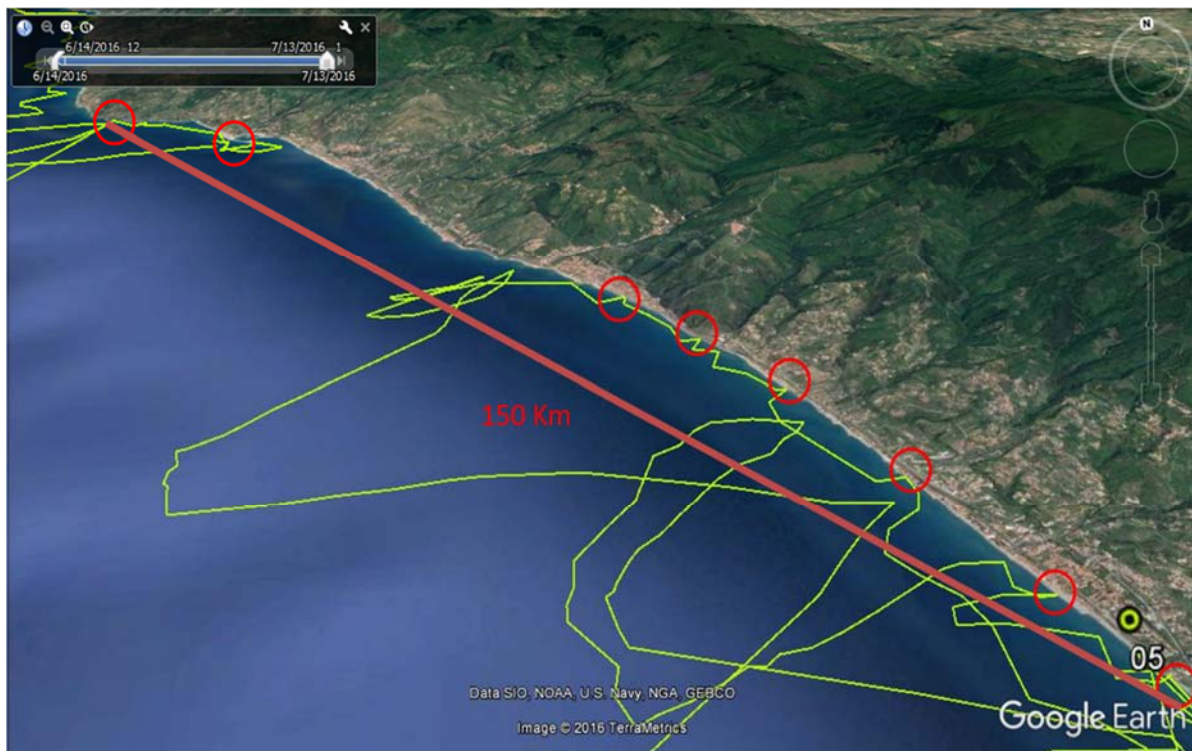


Figura 6. Monitoraggio dei movimenti di una femmina durante la fase di internesting nel Tirreno centrale. In rosso sono indicati i punti di emersione sulla spiaggia dell'animale, la distanza tra le 2 nidificazioni è stata di circa 150 km (dati non pubblicati SZN).

La fedeltà al sito di alimentazione è minore e relativamente evidente negli adulti che utilizzano gli stessi ambienti di foraggiamento neritico in stagioni riproduttive successive (Godley et al., 2003, Lazar et al., 2004b, Broderick et al., 2007, Zbinden et al., 2008 Schofield et al. . 2010a, Schofield et al. 2010b, Casale et al., 2013). I giovani tendono ad utilizzare diversi ambienti alimentari e possono permanere temporaneamente entro aree circoscritte per sfruttare opportunisticamente le risorse trofiche disponibili.

1.7 Struttura demografica

Il Mediterraneo è frequentato da individui di *Caretta caretta* appartenenti a tre Unità di Gestione Regionale (RMU), quella Mediterranea, l'Atlantica nord-occidentale e l'Atlantica nord-orientale (Wallace et al. 2010). Nella regione nidificano quasi esclusivamente gli individui dalla RMU Mediterranea (Clusa et al. 2013a) anche se nidi di femmine atlantiche sono stati recentemente identificati lungo le coste spagnole e nell'isola di Lampedusa (Carreras et al. 2018). Il bacino è stato probabilmente colonizzato durante il Pleistocene (circa 65000 anni fa) e la specie ha superato i successivi periodi freddi contraendo il proprio areale di distribuzione nella sola zona meridionale delle attuali coste libiche (Clusa et al. 2013a). Successivamente la popolazione si è espansa, colonizzando la Grecia e la Turchia (circa 35000 anni fa) (Clusa et al. 2013a). La Calabria, invece, è probabilmente il risultato di un secondo evento di immigrazione dalla popolazione Atlantica (Clusa et al. 2013a). Oggi le diverse unità riproduttive sono demograficamente indipendenti come risultato della notevole filopatria della tartaruga marina comune. Grazie all'analisi del DNA mitocondriale è stato possibile identificare sette Unità di Gestione (MU, (Moritz 1994)) indipendenti all'interno della regione Mediterranea: (i) Calabria, Italia, (ii) Grecia occidentale (Zakynthos + Kyparissia + Lakonikos), (iii) Rethymno (Creta, Grecia), (iv) Dalyan + Dalaman (Turchia), (v) Turchia occidentale (Fethiye a Çirali), (vi) Mediterraneo orientale (centrale + orientale Turchia + Libano + Israele + Cipro), e (vii) Libia + Tunisia. (Chaieb et al. 2011, Yilmaz et al. 2011, Saied et al. 2012, Clusa et al. 2013a, Garofalo et al. 2013, Shamblin et al. 2014)

A dispetto di questa marcata strutturazione genetica delle unità riproduttive, individui provenienti da diversi siti di nidificazione condividono aree di foraggiamento oceaniche e neritiche all'interno del Mediterraneo (Figura 7). In sintesi, la porzione orientale del Mediterraneo è occupata principalmente da tartarughe provenienti dalla Turchia, da Cipro e dalla Grecia orientale. Le tartarughe libiche restano prevalentemente nel settore centro meridionale e l'Adriatico è utilizzato da tartarughe greche e turche (Clusa et al. 2013b, Casale & Mariani 2014, Karaa et al. 2016, Tolve et al. 2018). Questa condivisione degli ambienti di alimentazione può spiegare i moderati livelli di flusso genico mediato dai maschi che sono stati osservati nel Mediterraneo, come conseguenza di un comportamento opportunistico di accoppiamento (Carreras et al. 2011).

Anche la popolazione di tartaruga verde è considerata un'unità di gestione regionale indipendente (Wallace et al., 2010). A differenza di quanto riscontrato nella *Caretta caretta*, l'analisi genetica non ha evidenziato una chiara struttura demografica tra i diversi siti di nidificazione presenti nel Mediterraneo (Encalada et al. 1996, Kaska 2000, Bagda et al. 2012, Naro-Maciel et al., 2014). Questo potrebbe essere legato al potere di risoluzione dei marcatori utilizzati. Studi recenti, impiegando nuovi set di marcatori molecolari tanto mitocondriali che nucleari (Tikochinski et al. 2012, Tikochinski 2017, Bagda et al., 2012) hanno, infatti, suggerito una possibile strutturazione demografica delle unità riproduttive di tartaruga verde nel Mediterraneo.

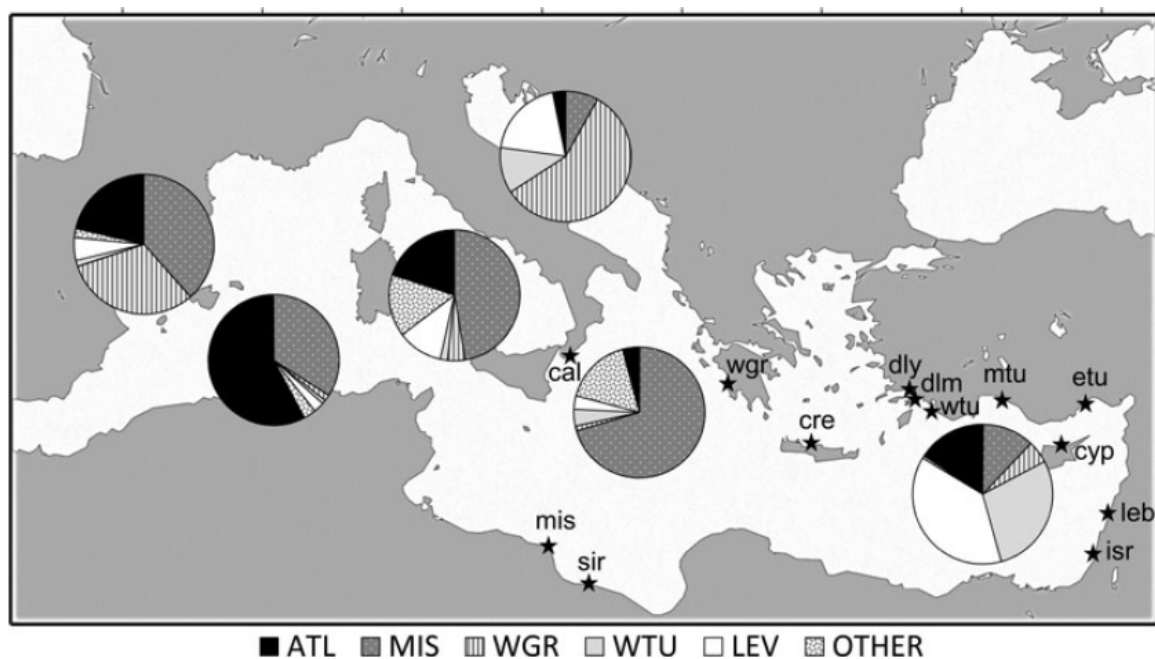


Figura 7. Contributi delle unità riproduttive di tartaruga marina comune ai diversi ambienti di foraggiamento Mediterranei (Immagine modificata da Clusa et al 2013).

1.8 Output riproduttivo

Il picco delle nidificazioni di tartarughe marine nel Mediterraneo si ha tra l'inizio di giugno e l'inizio di agosto con il periodo riproduttivo che si estende complessivamente da metà maggio agli inizi di settembre. Esistono differenze sostanziali all'interno di questo bacino in termini di taglia delle femmine nidificanti e numero medio di uova deposto per nido. Gli individui ciprioti presentano i valori più bassi riportati nel Mediterraneo per entrambi i parametri mentre quelli greci si trovano all'estremo opposto. Esiste inoltre una notevole variazione nel numero di uova deposte anche tra i nidi della stessa unità riproduttiva, probabilmente come conseguenza nella disponibilità di risorse trofiche nei diversi ambienti di foraggiamento utilizzati dai singoli individui (Zbinden et al. 2011, Cardona et al. 2014, Patel et al. 2015b). Il numero di nidi deposto da una femmina nel corso di una singola stagione riproduttiva può variare da 1 a 5 per la *Caretta caretta* e da 1 a 4 per la tartaruga verde (Broderick et al. 2003, Stokes et al. 2014).

La durata del periodo di incubazione delle uova è inversamente correlata alla temperatura di incubazione ed è molto variabile tra i diversi siti di riproduzione presenti nel Mediterraneo. Essa può estendersi da circa 40 ad oltre 80 giorni in funzione delle condizioni ambientali.

Il confronto del successo di emersione riportato per i diversi siti di nidificazione del Mediterraneo è complesso in quanto molteplici fattori (grado di protezione del sito, traslocazione, ecc..) influenzano il numero di neonati che possono emergere dal nido e non sempre sono chiaramente esplicitati nei diversi studi. In generale un successo di schiusa superiore al 75% è caratteristico di un sito con caratteristiche idonee per lo sviluppo embrionale.

La tabella 2 riporta un esempio su frequenza e successo di schiusa delle uova su monitoraggi intensivi condotti dalla Stazione Zoologica.

Tabella 2. Dati sulle nidificazioni avvenute in Campania. Questo è l'unico sito nel Mediterraneo Occidentale in cui la nidificazione di *Caretta caretta* ha assunto carattere di regolarità dal 2012. Si riportano a titolo di esempio i valori del successo di schiusa. Successivamente al 2008 per nidi non inondati o manipolati si sono osservati valori sempre superiori al 75% a testimonianza di condizioni ambientali adeguate per lo sviluppo embrionale (da Maffucci et al. 2016 con informazioni aggiuntive).

Sito	Data deposizione	Data prima emersione	Durata incubazione	Numero di uova	Successo di schiusa	Note
Baia Domizia	11/07/2002	-	64	92	49.4	Traslocato
Marina di Camerota	-	17/10/2004	-	-	-	Solo resti di gusci
Ogliastro	25/07/2006	-	73	93	33.3	Traslocato
Lucrino ^a	15/07/2008	-	46	115	92.2	Deposto su una spiaggia geotermica
Ogliastro	-	28/08/2012	-	73	75.3	
Palinuro	-	19/08/2013	-	132	62.1	Inondato
Palinuro ^b	15/07/2013	-	56	96	99.0	
Battipaglia	-	12/10/2013	-	110	-	Inondato
Palinuro	-	06/12/2013 *	-	48 [#]	-	Predato
Acciaroli ^b	30/07/2014	-	60	118	95.8	
Capaccio	-	25/08/2014	-	117	91.5	
Marina di Camerota ^c	19/06/2015	-	50	99	83.0	
Marina di Camerota	07/07/2015	-	58	60	80.0	
Ascea Marina ^d	18/07/2015	-	56	87	80.0	Traslocato
Eboli	-	28/08/2015	-	-	-	Predato
Marina di Camerota ^e	29/07/2015	-	58	56	89.3	
Ascea Marina ^f	29/07/2015	-	57	-	-	
Ascea Marina	30/07/2015	-	62	58	29.3	Inondato

1.9 Fattori di stress e minacce per le tartarughe marine in ambiente terrestre

Le tartarughe marine utilizzano l'ambiente terrestre per la deposizione e lo sviluppo embrionale, fasi essenziali e estremamente delicate del loro complesso ciclo vitale. Solo in alcune aree del Mediterraneo sono state analizzate le minacce specifiche in questo ambiente anche se, nella maggior parte dei casi, manca un'esatta quantificazione dell'impatto.

Un primo elemento di rischio, considerata l'alta densità di popolazione lungo le coste del Mediterraneo e le proiezioni di incremento, è rappresentato dallo sviluppo costiero associato prevalentemente all'uso ricreativo/turistico delle spiagge. La costruzione e la presenza di alberghi, resorts, stabilimenti balneari, ristoranti, bar ed abitazioni, impatta notevolmente sulla conformazione originale della linea di costa con evidenti ripercussioni sull'attività di nidificazione delle tartarughe marine. Importanti siti di nidificazione quali ad esempio la baia di Kyparissia in Grecia, alcune spiagge cipriote, la spiaggia di Fethye in Turchia e le coste israeliane hanno subito un fortissimo impatto determinato dallo sviluppo costiero che ha reso queste unità particolarmente vulnerabili (Margaritoulis et al. 2003).

Le attività ricreative legate all'uso intensivo del litorale durante la stagione turistica estiva hanno potenzialmente un effetto molto negativo sulla nidificazione. L'utilizzo ad esempio di mezzi meccanici per la pulizia del litorale è una pratica molto in uso in diversi siti mediterranei e può condurre all'alterazione delle caratteristiche della sabbia ed alla distruzione del nido (Arianoutsou 1988, Margaritoulis & Panagopoulou 2010, Katselidis et al. 2013b, Türkozan & Kaska 2010, Rees et al. 2010, dati SZN non pubblicati). La mancata rimozione nelle ore notturne delle attrezzature balneari (lettini, sdraio, ombrelloni), la predisposizione di campetti sportivi sul litorale riduce notevolmente lo spazio disponibile per la deposizione e può indurre le femmine ad abbandonare il tentativo in caso di incontro accidentale con uno di questi ostacoli (Ilgaz et al. 2007, Demetropoulos & Hadjichristophorou 2010, Margaritoulis & Panagopoulou 2010, Katselidis et al. 2013b, Başkale et al. 2016, SZN data). La presenza di fonti di illuminazione artificiale (sede stradale, bar, ristoranti, discoteche) può disturbare le femmine durante la fase di selezione del sito e la nidificazione. Inoltre, l'inquinamento luminoso disorienta i neonati che attratti dalla fonte di luce artificiale non raggiungono il mare. Mortalità anche del 100% sono state riscontrate in siti di nidificazione occasionale fortemente antropizzati del Mediterraneo Occidentale (dati non pubblicati SZN). Inoltre la presenza umana sul litorale nelle ore notturne può rappresentare un importante disturbo per l'attività di nidificazione in quanto le femmine di tartaruga marina tendono ad abbandonare il tentativo.

Anche l'erosione costiera e la costruzione di strutture a protezione delle spiagge possono avere effettivi negativi sulla nidificazione delle tartarughe marine. Le scogliere sommerse o le altre strutture costruite per arginare la perdita di litorale, conseguenza, spesso, di una cattiva gestione delle acque interne, possono rappresentare infatti degli impedimenti puntuali durante la fase di approccio della spiaggia da parte delle femmine nidificanti o per il rapido allontanamento dei neonati dalla costa. Inoltre spesso tali strutture sono costruite senza un'adeguata valutazione delle dinamiche della spiaggia e delle correnti lungo costa, risultando pertanto in un'accelerazione dei tassi di erosione o in una modifica sostanziale della linea di costa (Synolakis et al. 2008).

1.10 Fattori di stress e minacce per le tartarughe marine in ambiente marino

Le tartarughe marine sono animali molto longevi che spendono la quasi totalità della loro esistenza in mare spostandosi tra aree offshore e costiere dove sono esposte ad una miriade di minacce di origine antropica.

La pesca rappresenta sicuramente la principale fonte di rischio per le tartarughe marine nel Mediterraneo. Si stima che ogni anno vengano catturate complessivamente più di 132.000 tartarughe di cui oltre 40.000 muoiono a seguito dell'interazione con lo strumento da pesca (Casale 2011). Pur trattandosi di numeri considerevoli, questi sono con certezza delle sottostime del numero effettivo di catture accidentali che avvengono annualmente nel Mediterraneo considerato che molti paesi non posseggono statistiche della pesca e che c'è un'ampia porzione della cosiddetta pesca artigianale il cui impatto non è facilmente monitorabile. Dai dati disponibili appare evidente che le catture accidentali avvengano in tutto il bacino mediterraneo, con numeri particolarmente significativi nell'area circostante le isole Baleari, nel Mediterraneo centrale, in Adriatico, nel Mar Egeo e nel bacino di levante (Casale 2011).

L'incremento di detriti di origine antropica, in particolare materiale plastico, nella colonna d'acqua e sui fondali marini rappresenta un'ulteriore minaccia in quanto le tartarughe marine possono ingerirli o rimanervi intrappolate. Diversi studi hanno evidenziato la significativa presenza di spazzatura (*marine litter*) nel sistema gastrointestinale delle tartarughe marine del Mediterraneo anche se i potenziali effetti negativi devono ancora essere attentamente valutati (Campani et al. 2013, Camedda et al. 2014, Casale et al. 2016, Matiddi et al. 2017).

Data la geomorfologia del bacino Mediterraneo, l'elevato sviluppo delle aree costiere e la presenza di importanti sbocchi di fiumi che attraversano regioni fortemente industrializzate, le tartarughe marine sono potenzialmente esposte ad un rischio legato all'accumulo di sostanze inquinanti. I dati disponibili sulla presenza dei metalli pesanti negli individui che foraggiano nel Mediterraneo indicano per alcuni elementi, come ad esempio il cadmio, concentrazioni prossime o superiori ai livelli tossici riscontrate in esemplari provenienti dal nord Adriatico, Basso Tirreno e Turchia meridionale (Storelli et al. 1998, Storelli & Marcotrigiano 2000, 2003, Franzellitti et al. 2004, Kaska et al. 2004, Storelli et al. 2005, Maffucci et al. 2006). Per quanto riguarda gli inquinanti organici persistenti, concentrazioni maggiori di policlorobifenili (PCB) sono state osservate nella *Caretta caretta* rispetto alla *Chelonia mydas*. Una differenza che riflette probabilmente le diverse abitudini alimentari delle due specie (McKenzie et al. 1999, Storelli & Marcotrigiano 2000a, Storelli et al. 2007).

Anche l'uso ricreativo del mare, legato principalmente al diportismo e agli sport acquatici, è un pericolo per le tartarughe marine. Questi animali hanno difficoltà ad evitare l'impatto con imbarcazioni che viaggiano a velocità superiori i 4 km h⁻¹ (Hazel & Gyuris 2006). La morte di femmine nidificanti a causa della collisione con un natante è stata riportata in Grecia, Turchia e Italia (Margaritoulis et al. 2003, SZN data). Nelle aree costiere del Tirreno centrale circa il 20% degli esemplari recuperati presenta segni di impatto con un natante, percentuale che si attesta intorno al 9% in Grecia (Margaritoulis et al. 2003). Anche l'attività ecoturistica del "turtlewatch", condotta

nelle acque antistanti alcuni importanti siti di nidificazione del Mediterraneo, genera disturbo e può interagire con il normale svolgimento delle attività da parte delle tartarughe (Schofield et al. 2015).

Vi è una crescente preoccupazione infine per gli effetti dell'aumento della rumorosità degli oceani sugli organismi marini. Molteplici attività antropiche possono generare suoni quali il traffico marittimo, le indagini sismiche, le operazioni militari, i dragaggi, ecc. Questi suoni hanno il potenziale di influenzare negativamente le tartarughe marine in diversi modi, dal trauma dell'udito (temporaneo o permanente), all'alterazione del comportamento fino al mascheramento di rumori biologicamente significativi (McCarthy 2004, Nelms et al. 2016).

2. Sistema uditivo e risposta a rumore e vibrazioni

2.1 Morfologia apparato uditivo delle tartarughe marine

Le tartarughe marine non posseggono orecchio esterno. Il timpano è una semplice continuazione del tessuto facciale, sito in posizione posteriore rispetto alla linea mediana del cranio, e può essere individuato mediante palpazione. Sotto il timpano si trova uno spesso strato di grasso sub-timpanico che possiede una struttura simile a quella del grasso nelle mascelle degli odontoceti e svolge la funzione di canale a bassa impedenza per la trasmissione del suono all'orecchio (Bartol & Musick 2002). L'orecchio medio si trova posteriormente al timpano e la tromba di eustachio lo collega alla gola. La catena ossicolare è costituita da due elementi, l'extracolumella e la columella. La prima è un disco cartilagineo a forma di fungo posto immediatamente sotto il grasso sub-timpanico e adesa posteriormente alla columella. Questa non è altro che una lunga asticella con il peso concentrato ad entrambe le estremità di cui quella distale ha la forma di staffa ed è collegata al sacco mediante uno strato fibroso (Bartol & Musick 2002).

La columella è libera di muoversi solo longitudinalmente all'interno delle tube, quindi quando il timpano riceve un impulso trasmette l'energia vibrazionale al sacco (Figura 8). La parte sensoriale dell'orecchio interno è la membrana basilare della coclea, costituito da uno strato denso di tessuto connettivo (Hetherington 2008). In base alla morfologia funzionale dell'orecchio, è quindi evidente che le tartarughe marine percepiscono i suoni attraverso il meccanismo timpano-orecchio medio tipico dei vertebrati ma la struttura dell'orecchio appare adattata alla percezione dei suoni in acqua piuttosto che in aria. In questo caso il timpano agisce come meccanismo di rilascio della pressione piuttosto che come elemento di percezione dei suoni (Bartol & Musick 2002).

In base ai risultati di studi di elettrofisiologia condotti su tartarughe verdi e tartarughe comuni i range di frequenze percepiti sono rispettivamente di 200-700 Hz (massima sensibilità intorno ai 400 Hz) e di 250-1000 Hz (massima sensibilità a 250 Hz) (Bartol & Musick 2002 e referenze lì contenute).

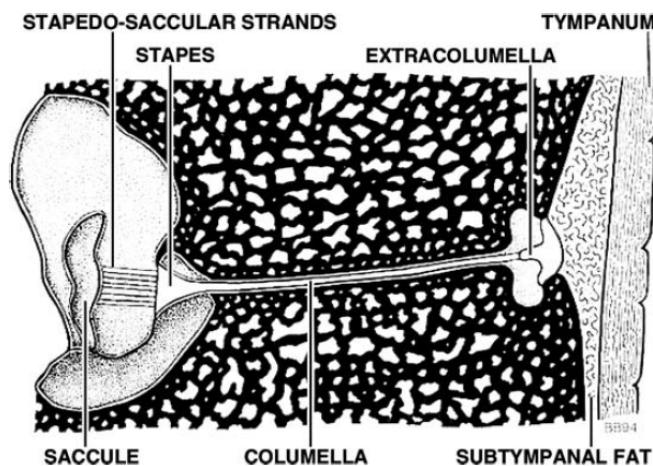


Figura 8. Schema dell'orecchio medio di un giovane di tartaruga (Immagine modificata da Bartol & Musick 2002)

2.2 Risposta comportamentale delle tartarughe marine ai suoni

Gli studi sulle risposte comportamentali delle tartarughe marine esposte a fonti sonore possono essere ricondotti a 2 macro categorie: quelli effettuati in ambiente controllato e i lavori osservazionali su animali liberi (Nelms et al. 2016). Sebbene i risultati di questi studi non siano immediatamente confrontabili, date le diverse modalità di propagazione del suono nei due ambienti sperimentali, in generale è stato evidenziato che suoni a bassa frequenza tendono ad indurre una risposta comportamentale nelle tartarughe marine.

McCauley et al. (2000) osservando la reazione di esemplari di tartaruga verde e di tartaruga comune esposti a suoni di intensità crescente all'interno di gabbie sommerse, ha riscontrato l'insorgenza di uno stato di agitazione per stimoli superiori ai 175 dB re 1 μ Pa rms. L'impossibilità da parte degli animali di attuare un meccanismo di fuga dalla fonte di disturbo può avere contribuito al manifestarsi del comportamento osservato. In un altro studio, per valutare l'efficacia di una barriera sonora atta ad evitare l'ingresso di tartarughe marine all'interno del canale della centrale elettrica Florida Power & Light, è stata necessaria l'emissione di onde compressionali (prodotte da air gun) di circa 140 kg/cm² per ottenere un effetto deterrente alla distanza di circa 30 m (O'Hara & Wilcox 1990). Il suono prodotto da questo sistema era di circa 220 dB re 1 μ Pa a 1 m nel range di frequenza 25-1000 Hz. Le tartarughe marine appaiono, però, abituarsi rapidamente anche a questi suoni intensi. In uno studio del 1995, giovani esemplari di *Caretta caretta* hanno smesso di esibire un comportamento di fuga già alla terza esposizione ripetuta a stimoli sonori emessi da air gun con intensità crescenti pari a 175, 177, e 179 dB re 1 mPa a 1 m (Bartol 2008).

L'osservazione diretta del comportamento delle tartarughe marine durante prospezioni sismiche condotte in Angola hanno evidenziato una minore presenza degli animali durante le emissioni di impulsi all'interno di un corridoio di circa 1 km rispetto alla sorgente del disturbo (Weir 2007). Un risultato simile a quanto riportato nel Mediterraneo nel corso di una prospezione sismica di circa 2 settimane fuori le coste algerine (DeRuiter & Doukara 2012). Le tartarughe entro una distanza relativamente breve dalla fonte sonora (circa 130 m) e per intensità alte (191 dB re 1 μ Pa) interrompono il basking superficiale per immergersi prontamente (DeRuiter & Larbi Doukara 2012). In entrambi questi studi non è stato però valutato se la risposta delle tartarughe sia stata indotta dal disturbo sonoro o dal semplice avvicinarsi della nave oceanografica (Nelms et al. 2016).

Un recente studio sugli effetti del dragaggio del fondo marino sulle tartarughe *Natator depressus* in Australia non ha evidenziato alcuna riduzione significativa della presenza degli animali nell'area nonostante l'elevato livello di disturbo (Whitlock et al. 2017).

Dato l'incremento negli ultimi anni del numero di prospezioni sismiche condotte anche in prossimità di siti di nidificazione delle tartarughe marine, sono state avanzate delle preoccupazioni in merito al potenziale pericolo che queste scoraggino le femmine dall'approssimarsi alla spiaggia di nidificazione. Un autore ha suggerito anche che il rumore subacqueo di origine antropica potrebbe mascherare i suoni naturali che le tartarughe utilizzerebbero per l'identificazione del sito riproduttivo ma non vi sono evidenze sperimentali a supporto di tale tesi (Nunny et al. 2008). Un altro studio condotto in Australia sugli effetti degli impulsi a bassa frequenza generati dai mezzi per la palificazione del fondale marino non ha evidenziato alcun effetto sulla quantità di nidi deposti

anche se il risultato deve essere utilizzato con cautela dato lo sforzo di campionamento relativamente modesto.

Non esistono infine studi sugli effetti cronici dell'esposizione a livelli alti di rumore ambientale. E' importante però evidenziare che a causa dell'aumento generale della pressione antropica sugli ecosistemi marini, la rumorosità di fondo dell'ambiente in cui vivono le tartarughe marine è significativamente aumentata negli ultimi 30 anni. In alcune aree molto antropizzate, come la baia di New York, utilizzata principalmente dalla tartaruga comune come area di foraggiamento, sono stati registrati livelli di rumorosità di fondo anche superiori ai 110 dB re 1 μ Pa (Samuel-Rhoads et al. 2005).

2.3 Danni fisici derivanti dal disturbo acustico

Le tartarughe marine percepiscono suoni a bassa frequenza in un intervallo sovrapponibile a quello delle emissioni sonore derivanti dagli strumenti generalmente utilizzati per le prospezioni sismiche e le attività di sfruttamento dei fondali marini (Nelms et al. 2016).

Non esistono ad oggi prove documentali di danni fisici provocati alle tartarughe marine dalle emissioni sonore di origine antropica.

Tutti i valori riportati nella letteratura citata in questo documento si basano su un principio precauzionale e sono stati determinati sulla base delle risposte osservate in altri organismi.



3. Le tartarughe marine in Adriatico

3.1 Utilizzo dell'habitat e rotte migratorie in Adriatico

L'Adriatico è stato identificato come una delle principali aree di foraggiamento della tartaruga marina comune nel Mediterraneo. Sporadicamente vengono rinvenuti in questo bacino anche esemplari appartenenti alle altre due specie riportate nel Mediterraneo, la *Chelonia mydas* e la *Dermochelys coriacea*. È stato ipotizzato che le giovani tartarughe verdi, seguendo il sistema prevalente di circolazione superficiale ionico-adriatica entrino nell'Adriatico meridionale, dove le temperature del mare sono entro il range tollerato da questa specie (Lazar et al., 2010). In generale la presenza di tartarughe verdi è bassa e le segnalazioni si riferiscono per lo più ad esemplari spiaggiati morti o debilitati (Lazar et al., 2004, Bentivegna et al., 2011). L'analisi dei contenuti gastro-intestinali e le classi dimensionali degli animali recuperati indicano che le tartarughe verdi utilizzano prevalentemente l'ambiente offshore profondo meridionale e gli habitat neritici nella baia di Patok in Albania (Lazar et al., 2004, Haxhiu 2010).

La tartaruga liuto è una specie molto vagile ed entra nell'Adriatico probabilmente alla ricerca della sua preda preferita, il plancton gelatinoso. Tuttavia, come per le tartarughe verdi, il numero di avvistamenti è relativamente basso, con solo 18 individui sono stati segnalati nel periodo 1981-2000 e rappresentano il 4,4% di tutte le segnalazioni riportate nel Mediterraneo (rivisto da Casale et al., 2003). La loro dimensione media (145 cm CCL) indica che si tratta di esemplari giovani in uno stadio prossimale alla maturità.

L'Adriatico è un importante ambiente di foraggiamento e di svernamento per la tartaruga marina comune. L'abbondanza minima stimata mediante indagine aerea è di 31.051 tartarughe (Štrbenac 2015). Una piccola porzione di tartarughe verdi, non superiore al 2%, potrebbe essere inclusa in questa valutazione (Štrbenac 2015). Le tartarughe sono presenti in tutto il bacino anche se appaiono a concentrazioni maggiori nella vasta area neritica settentrionale (Figura 9). Un altro punto di aggregazione appare essere l'area offshore meridionale (Štrbenac 2015). Ciò suggerisce che i giovani di *Caretta caretta* entrano nel bacino meridionale utilizzando lo stesso percorso delle tartarughe verdi (Casale e Mariani 2014). Le classi dimensionali delle tartughe marine comuni riscontrate nell'area neritica di foraggiamento dell'Adriatico settentrionale (CCL media 54,2 cm) e nel Golfo di Manfredonia (CCL media 56,1 cm) indicano la presenza di individui giovani ed adulti (Casale et al. 2012b). In queste zone le tartarughe svolgono un'importante funzione di bioturbazione in quanto scavano nel substrato molle alla ricerca di prede (Lazar et al., 2011). Le tartarughe adulte appaiono mostrare una certa fedeltà al sito di foraggiamento in stagioni riproduttive successive (Schofield et al 2010). Le aree centrali di foraggiamento nelle zone neritiche costiere hanno un'estensione media molto ridotta (circa 6 km²) e sono 18 volte più piccole dei siti di foraggiamento neritici presenti in aree offshore (media = 108,5 km²) (Schofield et al 2010).

Le tartarughe marine comuni svernano in Adriatico anche se c'è una migrazione stagionale latitudinale per allontanarsi dalle fredde acque del settore settentrionale che possono raggiungere valori inferiori a 8 ° C (Lazar et al., 2002). La presenza di tartarughe giovanili (media CCL 41,7 cm) sulle aree costiere dell'Italia centrale durante l'inverno è stata dimostrata da diversi eventi di "cold-stunning" (Bentivegna et al., 2002).

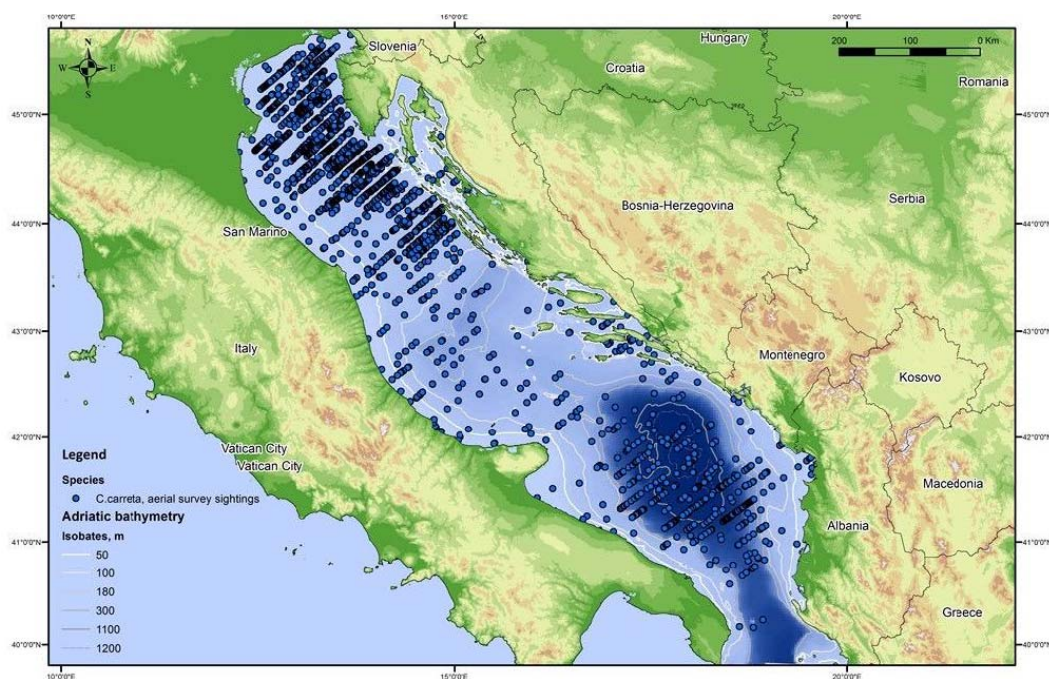


Figura 9. Avvistamenti di tartarughe marien durante indagini aeree condotte in Adraitico nel 2010 e 2013 (Immagine modificata da Holcer et al. 2015)

Le migrazioni stagionali da/verso aree riproduttive e aree di foraggiamento/svernamento seguono per lo più corridoi costieri (i corridoi arancioni illustrati in Figura 10). Circa il 40-50% delle tartarughe marine nidificanti nella Grecia occidentale ritornano nelle aree di foraggiamento tra maggio e giugno (maschi) e tra luglio e settembre (femmine) utilizzando la costa adriatica orientale (Zbinden et al., 2011, Schofield et al., 2013, Luschi & Casale 2014), anche se alcuni individui sono stati monitorati mediante telemetria satellitare mentre risalivano il bacino lungo le coste italiane (Zbinden et al., 2011).

La migrazione verso sud per lo svernamento avviene solitamente in autunno (settembre-novembre) e segue prevalentemente le coste italiane (Schofield et al. 2010, Zbinden et al., 2011, Casale et al. 2012a, Luschi et al., 2013).



Figura 10. Aree principali per le tartarughe marine in Adriatico. Poligono rosso: area neritica di foraggiamento; poligono blu: area pelagica di foraggiamento; linea arancione: corridoi migratori

3.2 Cause di stress e disturbo alle tartughe marine in Adriatico

Le principali cause di stress o disturbo sulle tartarughe marine in Mediterraneo e nel Mare Adriatico possono essere così schematizzate. Il primo fattore di pressione è determinato dalla presenza dell'uomo e dalla crescita numerica di frequentazione dei litorali. La crescente popolazione umana residente e turistica pone una potenziale pressione antropica sul Mare Adriatico, l'Italia ha il maggiore potenziale di impatto, mentre il Montenegro ha il minore rischio. L'impatto più ovvio sono i bio-prodotti dell'uomo, come ad esempio i rifiuti solidi e le acque di scarico.

Turismo - Tutti e sei i paesi confinanti con il Mare Adriatico sono un'importante meta turistica con circa 63,9 milioni di arrivi di turisti per anno. Il turismo è una significativa fonte di entrate per la Croazia e il Montenegro relativamente al loro prodotto interno lordo. Nell'ultimo decennio, il turismo nautico e il risultante traffico marittimo nel Mare Adriatico sono aumentati significativamente, specialmente le moto d'acqua e le navi da crociera. Questo tipo di turismo ha un classico picco nei mesi estivi. Inoltre, il turismo genera traffico in termini di traghetti, grandi aliscafi e catamarani veloci. Le collisioni con barche veloci sono un problema per quanto concerne le tartarughe marine che riposano vicino alla superficie. Anche se i numeri non sono considerati alti, questo è un aspetto che dovrebbe essere considerato in futuro dato l'aumento del numero di veloci barche non professionali nella regione Adriatica.

Impatto della Pesca - Il Mare Adriatico, una delle due aree del Mediterraneo con la piattaforma continentale più estesa (l'altra è il Golfo di Gabès) è l'area più fortemente soggetta alla pesca a strascico della regione. La Croazia e l'Italia hanno avuto la più forte attività di pesca negli ultimi anni. Le sardine e le acciughe sono state le specie più pescate. All'interno del Mare Adriatico, i pescatori sono gestiti fra due GFCM cioè aree sub geografiche (GSAs). La GSA 17 (nord e centro Adriatico) e la GSA 18 (sud Adriatico). Croazia, Bosnia-Herzegovina, Italia e la Slovenia confinano con la GSA 17. Mentre, Albania, Italia e Montenegro confinano con la GSA 18 che si estende fino al confine Grecia-Albania. La maggior parte delle barche da pesca nell'Adriatico appartengono a Croazia e Italia. Nella GSA 17 (nord e centro Adriatico) le trappole sono di gran lunga le attrezzature più utilizzate, seguite dalle reti da posta, da traino, impiglianti e draghe. Le reti a strascico sono le attrezzature più utilizzate nella GSA 18 (sud Adriatico) seguite dalle reti da posta, impiglianti e sciabiche. Questi strumenti sono estremamente impattanti sulle le tartarughe che spesso finiscono vittime di queste attività di pesca.

Traffico marittimo - Il Mar Mediterraneo è una delle rotte più trafficate e conta circa il 15% delle rotte globali. La densità del traffico marittimo lungo il Mar Adriatico mostra che la maggior parte di essa è concentrata al nord e nella parte centrale. Il traffico marittimo nell'Adriatico include le rotte per le petroliere con petrolio greggio per i porti nel nord Adriatico e trasporti di gas liquefatto per il Rovigo LNG terminal, carico secco, porta container, petroliere chimiche, e barche per il trasporto passeggeri. Inoltre, barche da pesca, yacht, barche da turismo, navi militari e barche da ricerca scientifica contribuiscono a generare un forte traffico marino locale. In più, acque di zavorra, inquinamento, perdite di petrolio, possono causare alterazioni ambientali nocive. Un traffico marittimo così intenso aumenta il rischio di effetti negativi sulle tartarughe marine anche in relazione a possibili contatti ed incidenti. Il Mare Adriatico è considerato una delle aree a più alto

rischio di incidenti. l'Organizzazione Marittima Internazionale (IMO) ha registrato, per il Mare Adriatico, una frequenza di incidenti di livello cinque volte maggiore della media mondiale, soprattutto dovuta al turismo nautico stagionale. Infine, il traffico determina inquinamento acustico che altera i *sound seascape*.

Ricerca ed Estrazione di Idrocarburi - Attualmente, ci sono oltre 130 piattaforme di estrazione nell'Adriatico, e circa l'87% di esse sono in Italia. La maggior parte sono situate nella parte nord. Indagini geofisiche sono state frequentemente condotte per cercare idrocarburi, incluse indagini in Italia e Croazia e altre ancora sono state programmate in Montenegro. Inoltre, dal 2009, terminali off-shore di gas naturale liquido hanno operato nel nord Adriatico (Italia), e altre due sono state pianificate per il futuro (Croazia e Slovenia). Data l'alta intensità del traffico marittimo e l'importanza del Mare Adriatico per l'estrazione di idrocarburi, esso appare essere una delle regioni mediterranee con il più alto rischio di inquinamento cronico da idrocarburi.



4. Le tartarughe marine nell'area di interesse San Foca-Meledugno

4.1 Caratteristiche dell'area

Il tracciato del progetto Trans Adriatic Pipeline (TAP) prevede l'approdo a terra nell'area compresa tra San Foca e Torre Specchia. Questa zona è caratterizzata da un ridotto flusso di marea (con un'escursione pari a circa 0,4 m), da un'altezza massima d'onda pari a circa 3 m, da condizioni prevalenti di mare calmo (<0,5 m), e sedimento prevalentemente sabbioso. Il fondale in prossimità della costa è piuttosto piatto ma vi è la presenza di alcuni basamenti affioranti. La batimetria dei 25 metri di profondità è posta a circa 900 metri dalla spiaggia. Quest'area appare ampiamente sfruttata per scopi ricreativi come suggerito dalla presenza di strutture turistiche/balneari ad entrambi i lati della zona di approdo della TAP e di un grande parcheggio a meno di 500 metri in linea d'aria (Figura 11).



Figura 11. Foto satellitare dell'area di approdo della TAP. Le frecce azzurre indicano le strutture turistico ricettive, la freccia verde indica la presenza del grande parcheggio auto (foto tratta da Google Earth, scattata il 9/7/2017)

La zona di cantiere TAP, per quanto riguarda la parte a mare, attraversa nell'area offshore un importante corridoio di navigazione con intenso traffico marittimo in tutte le stagioni dell'anno. Traffico che si intensifica sotto costa durante il periodo estivo per il contributo dell'attività da diporto (Figura 12).

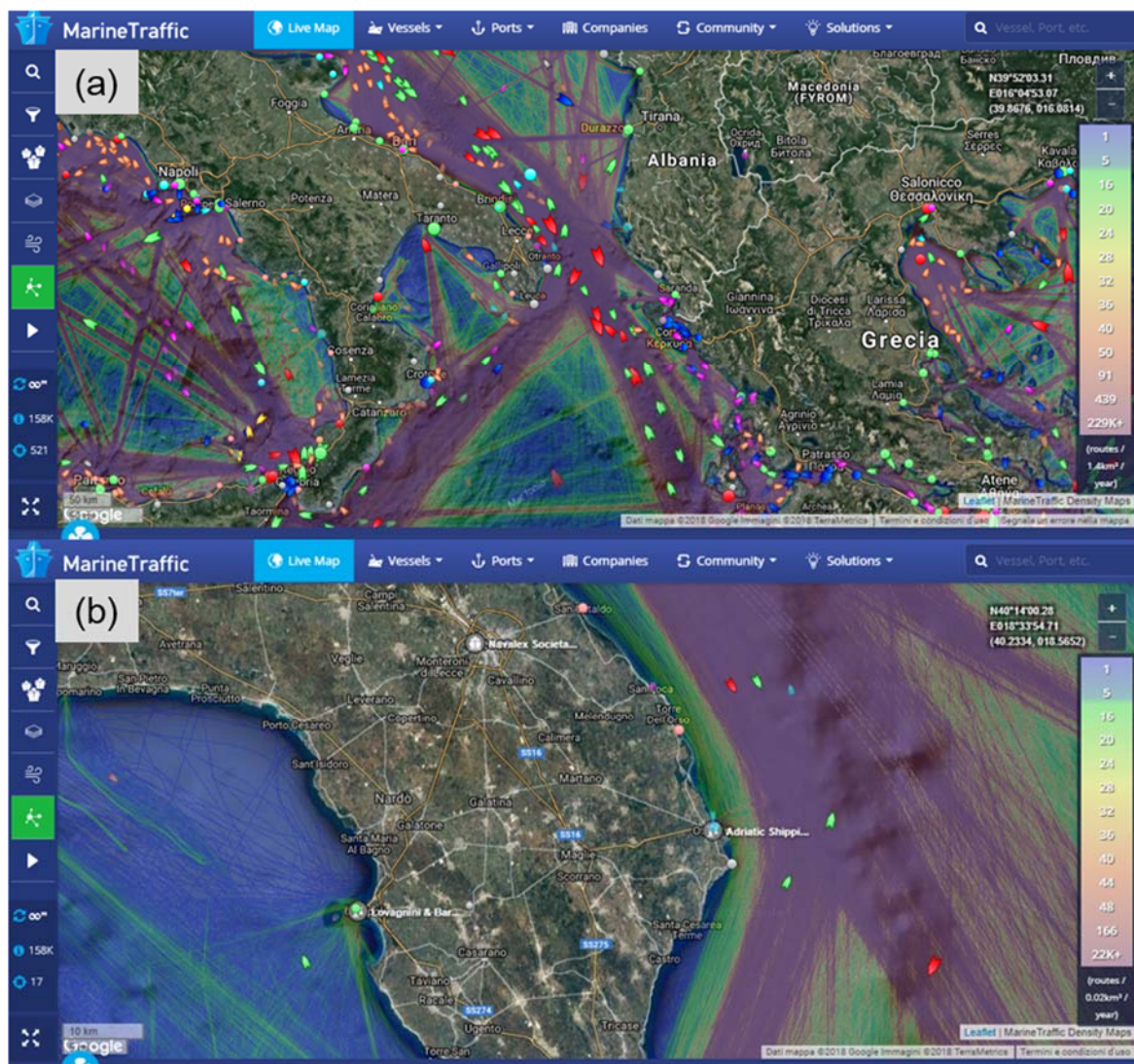


Figura 12. Intensità del traffico marittimo nell'area dello stretto di Otranto (a) e, in dettaglio, nelle vicinanze dell'area di approdo del gasdotto TAP (Fonte <https://www.marinetraffic.com/>)

4.2 Nidificazioni

L'ambiente terrestre di nidificazione delle tartarughe marine è caratterizzato da una serie di condizioni climatiche specifiche che sono collegate alle condizioni necessarie per un corretto sviluppo embrionale e per la produzione di neonati di buona qualità in grado di raggiungere gli ambienti di nursery oceaniche (Pike 2013). In Puglia non sono presenti aree di nidificazione regolare delle tartarughe marine, l'idoneità delle coste sul versante adriatico è stata stimata tra moderata e buona per la *Caretta caretta* e nulla per la *Chelonia mydas* (Figura 13, Pike 2013).

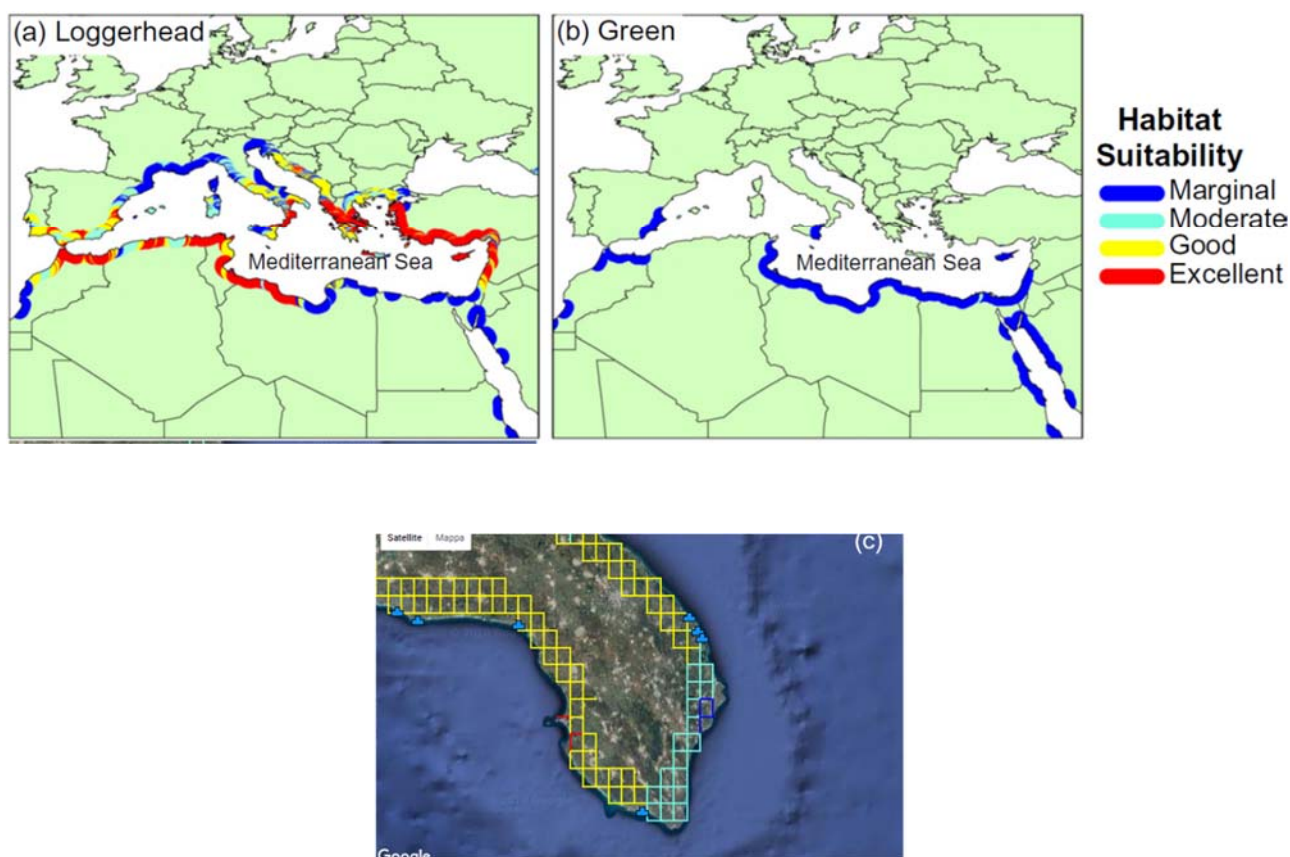


Figura 13. Distribuzione prevista delle tartarughe marine nella regione mediterranea (Immagine modificata da Pike 2013). L'idoneità dell'habitat di nidificazione, valutata sulla base di 9 predittori climatici, è stata classificata in 4 categorie: marginale, moderata, buona, eccellente. a) *Caretta caretta*; b) *Chelonia mydas* (Pike 2013), c) ingrandimento sull'area interessata dal progetto (SWOT, <http://seamap.env.duke.edu/swot>, accesso effettuato 11/04/2018).

Dal 2000 sono state individuati complessivamente nella regione 15 eventi di nidificazione eccezionale (Marra et al. 2015), dati Museo di Storia Naturale del Salento (MSNS) dipartimento di Erpetologia) di cui 7 deposti lungo la costa adriatica della provincia di Lecce (Figura 14, Tabella 3).

Tabella 3. Nidificazioni accertate dal 2006 lungo le coste adriatiche della Puglia. Il dato relativo ai neonati rilasciati fa riferimento al numero di uova schiuse con piccoli nati.

Località	Provincia	Anno	Latitudine	Longitudine	Data deposizione/individuazione	Data schiusa	Clutch size	Neonati rilasciati	Fonte
Meledugno, Torre dell'Orso	Lecce	2006	40°16'22.83"N	18°25'46.98"E	13/07/2006	/	47	0	Bentivegna et al 2010
Meledugno, San Basilio	Lecce	2007	40°18'41.47"N	18°23'26.22"E	19/07/2007		58	41	Garofalo et al 2016
Meledugno, San Basilio	Lecce	2012	40°18'38.91"N	18°23'32.02"E			58	0	Garofalo et al 2016
Torre Sant'Andrea (trasferico a T.specchia)	Lecce	2012	40°19'2.18"N	18°23'1.91"E	15/07/2012	17/09/2012	100	44	Garofalo et al 2016
Brindisi, Torre Testa Di Gallico	Brindisi	2013	40°40'51.63"N	17°54'43.79"E	non nota		Non noto	33	D'Astore & Maffucci 2016
Alimini, Otranto	Lecce	2014	40°12'11.42"N	18°27'31.34"E					CRTM MSNS dati non publ
Vernole, Le cesine	Lecce	2016	40°21'36.28"N	18°20'16.88"E	01/09/2016				WWF ITALIA

Quattro nidi sono stati deposti in prossimità dell'area individuata per l'approdo dal progetto TAP, di cui 3 ad una distanza massima dall'asse del microtunnel di 1000 m (Tabella 3, Figura 14). Le condizioni ambientali sfavorevoli hanno determinato il completo fallimento di 2 nidi (Torre dell'Orso 2006 e San Basilio 2012, Tabella 3, Bentivegna et al. 2010). In un caso è stato necessario traslocare il nido date le caratteristiche poco idonee del sito scelto dalla femmina nidificante (Torre Sant'Andrea 2012). Solo il nido deposto a San Basilio nel 2007 ha avuto un successo di emersione buono (Tabella 3).

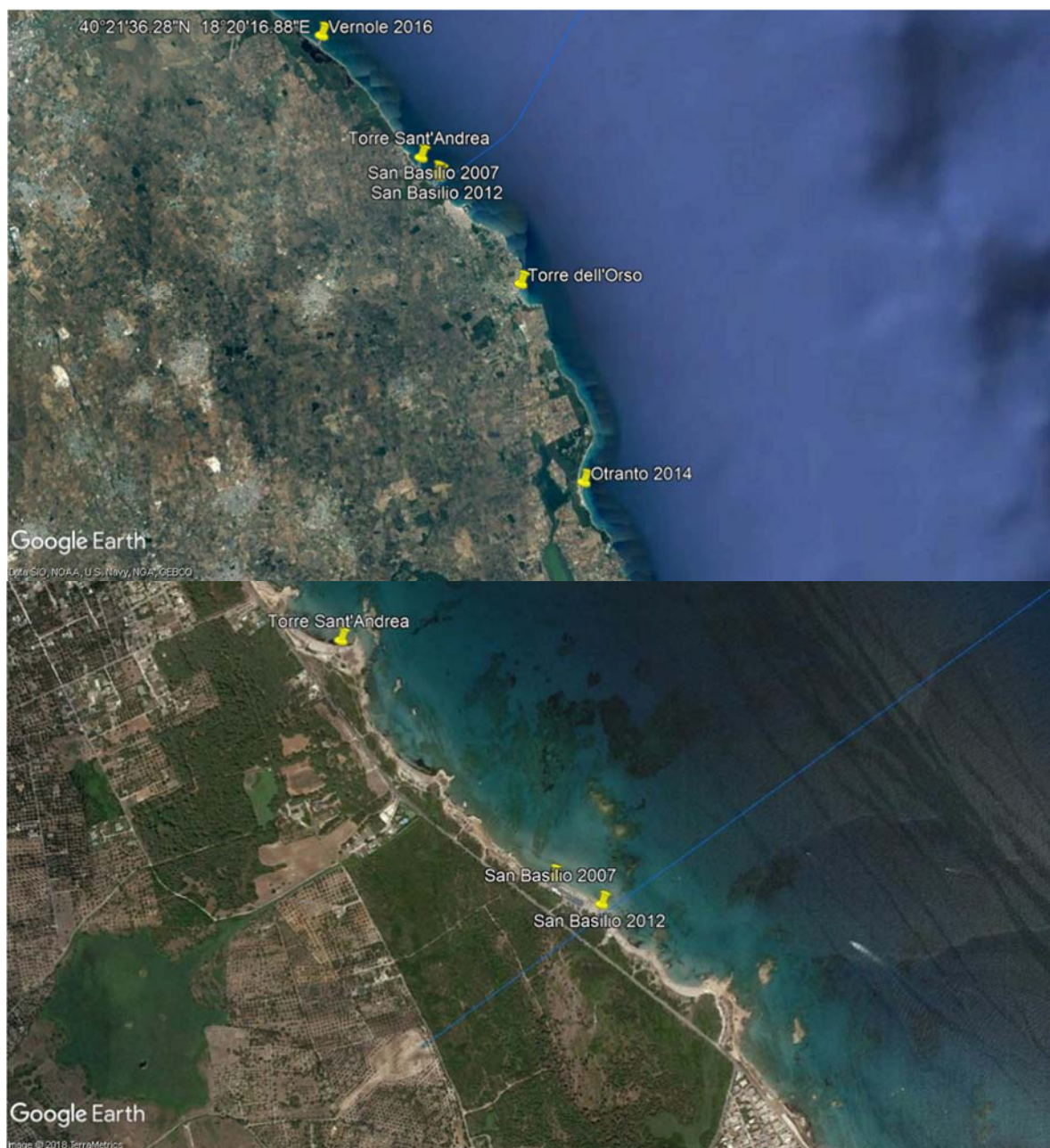


Figura 14. Localizzazione delle nidificazioni di tartaruga marina deposti lungo le coste adriatiche della Puglia. La nidificazione di San Basilio 2012 ha dato 0 individui nati.

4.3 Impatti antropici

L'analisi dei dati relativi gli esemplari di tartaruga marina vivi o morti recuperati lungo le coste della Regione Puglia nel periodo 1994-2013 indica che la Provincia di Lecce è quella in cui ricade il maggior numero di spiaggiamenti/rinvenimenti (28%, n = 535), seguita da Foggia (24%; n = 454), Taranto (18%; n = 345), Brindisi (13%; n = 243), Bari (10%; n = 176) e Barletta-Andria-Trani (7%; n = 138) (Marra et al. 2015). Il maggior numero di segnalazioni è stato riportato nel Mar Grande e Mar piccolo di Taranto, lungo il versante settentrionale del Gargano e in Salento (Figura 15, Marra et al 2015). La pesca è la principale causa di spiaggiamento delle tartarughe marine in Puglia con un potenziale hot spot di catture accidentali nel Golfo di Manfredonia (Marra et al 2015, Casale et al. 2012b). Significativa è la proporzione di esemplari recuperati debilitati o morti nel periodo invernale per assideramento ("cold stunning", Bentivegna et al. 2002, Marra et al 2015). Segni di impatto con i natanti sono stati riscontrati nel 5,5% delle tartarughe marine per cui erano disponibili i dati relativi le cause di spiaggiamento (Marra et al. 2015).

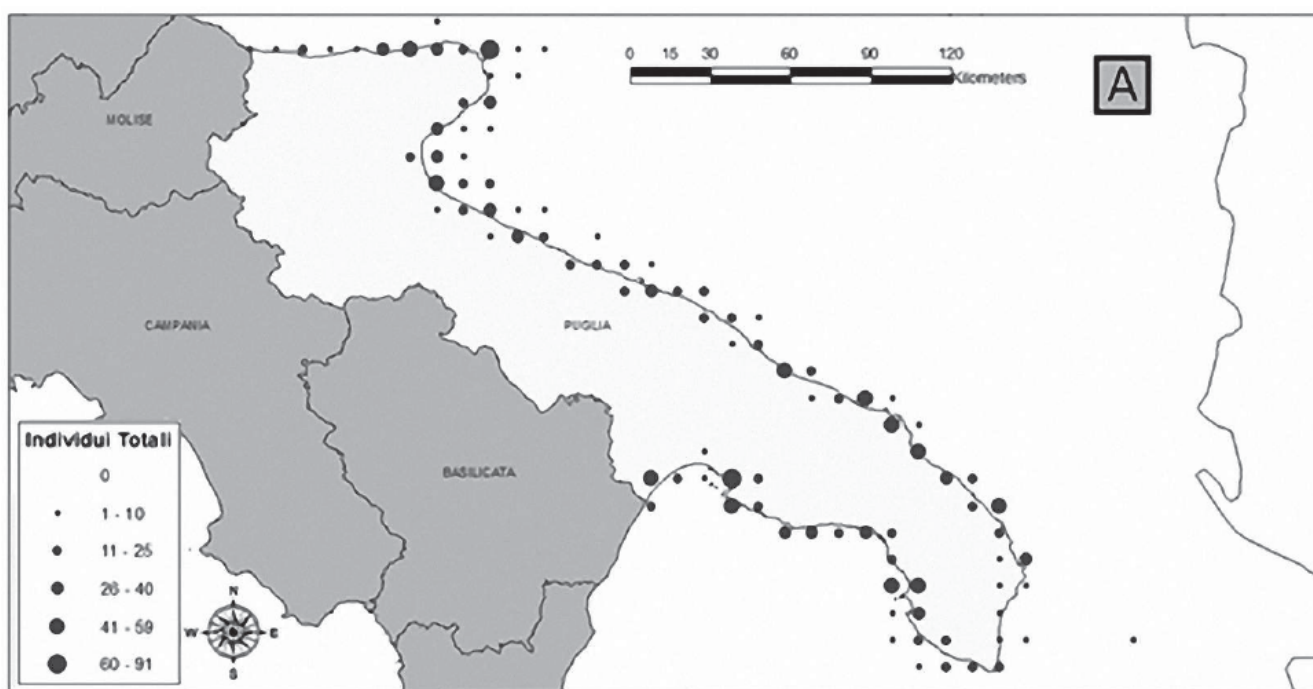


Figura 15. Distribuzione dei ritrovamenti di esemplari di tartaruga marina lungo le coste della Puglia durante il periodo 1994-2013 (Immagine modificata da Marra et al 2015)

Andando ad analizzare più nel dettaglio la situazione relativa l'area di interesse, i dati sugli spiaggiamenti lungo le coste adriatiche della Provincia di Lecce nel periodo 1985-2016, ottenuti grazie alla collaborazione del dott. Piero Carlino del Dipartimento di Erpetologia del Museo di Storia Naturale del Salento, indicano il ritrovamento di 373 tartarughe marine. Il picco di spiaggiamenti è stato registrato nel 2009, con 27 esemplari, seguito dal 2012 con 21 tartarughe (Figura 16).

I recuperi di tartarughe marine morte o in difficoltà avvengono prevalentemente nei mesi di febbraio e marzo (Figura 17), probabilmente a causa dell'abbassarsi della temperatura superficiale del mare che induce fenomeni di cold stunning soprattutto negli esemplari di piccola taglia (Bentivegna et al. 2002).

Nei mesi estivi, si sono verificati ad esempio spiaggiamenti che vanno dal 18,4% di giugno fino ad oltre il 10% quale dato registrato in agosto rispetto al numero di spiaggiamenti complessivamente registrati nel periodo analizzato.

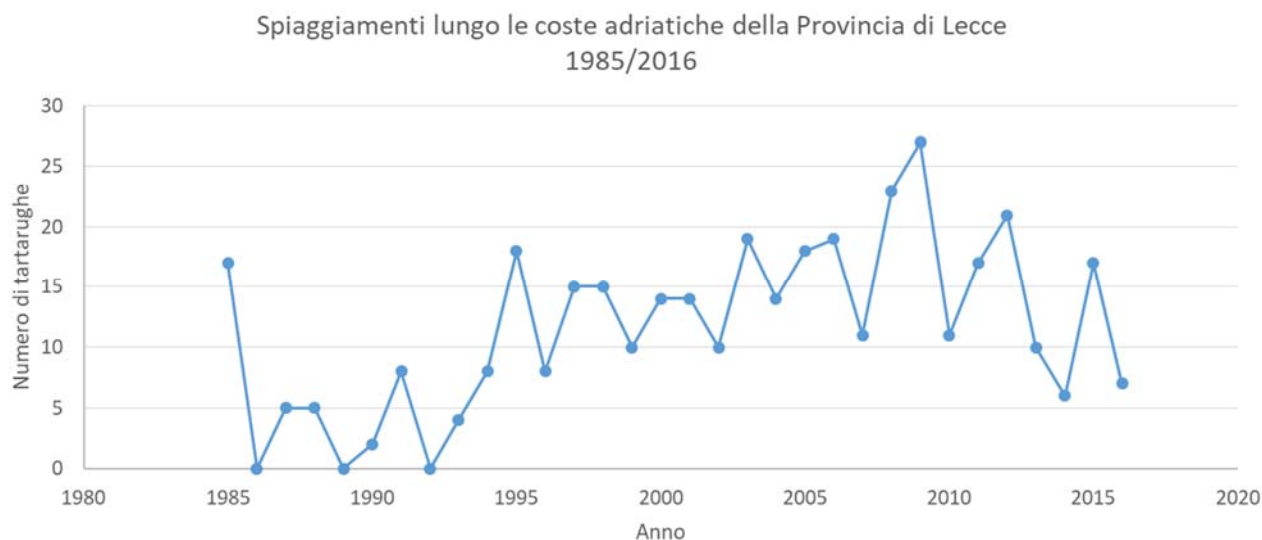
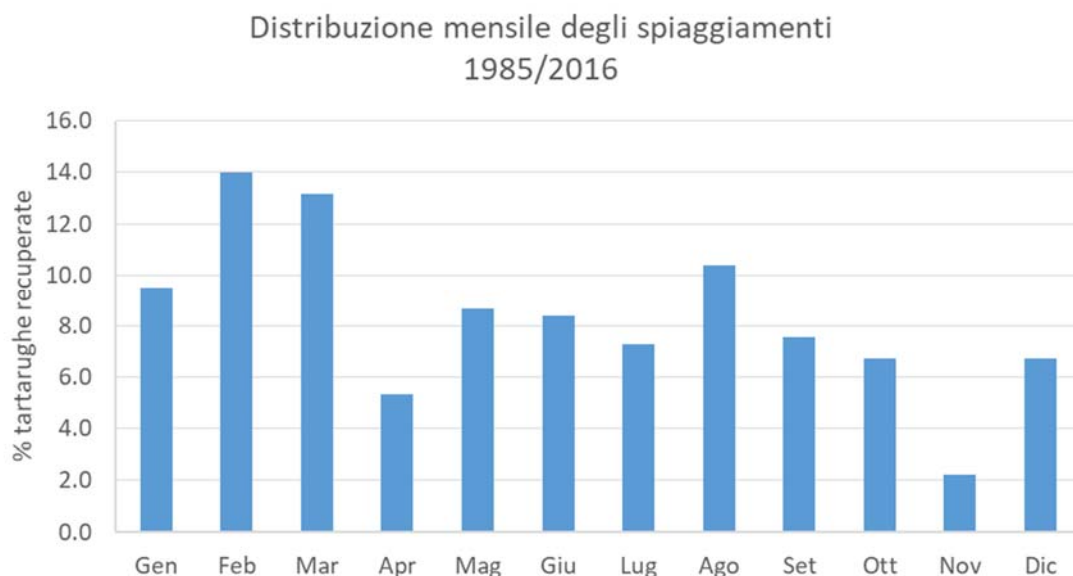


Figura 16. Andamento degli spiaggiamenti lungo le coste adriatiche della Provincia di Lecce. Dati del Dipartimento di Erpetologia del Museo di Storia Naturale del Salento.



f

Figura 17. Percentuale mensile delle tartarughe marine spiaggiate lungo le coste adriatiche della Provincia di Lecce nel periodo 1985-2016. Dati del Dipartimento di Erpetologia del Museo di Storia Naturale del Salento.

5. Valutazione del potenziale stress su tartarughe marine durante le attività di perforazione del microtunnel

Recenti studi hanno fornito una serie di indicazioni sul livello di esposizione ai suoni che produce un dato effetto sulle tartarughe marine (Halvorsen et al. 2017). Le informazioni disponibili sono state riassunte in Tabella 4. Pur rappresentando una sintesi delle informazioni attualmente disponibili, i dati mostrati non devono essere interpretati in termini assoluti ma quali linee guida qualitative per caratterizzare la risposta potenziale di questi animali alle diverse fonti di disturbo. Per la compilazione della tabella sono state utilizzate le seguenti definizioni.

- **Mortalità o ferimento:** Decesso immediato o ferimento mortale dell'esemplare ascrivibile esclusivamente alla fonte di disturbo sonoro
- **Danno recuperabile:** danno temporaneo alle strutture del sistema uditivo, piccoli barotraumi, ecc... reversibili in tempi relativamente brevi
- **Perdita temporanea udito (TTS):** alterazioni sul breve o lungo termine della capacità di percezione dei suoni. Ai fini della compilazione di questa tabella il TTS è definito come un'alterazione persistente superiore ai 6 dB
- **Copertura dei suoni ambientali:** In presenza della fonte di disturbo, indebolimento della sensibilità uditiva per oltre 6 dB
- **Risposta comportamentale:** cambio sostanziale del comportamento dell'animale esposto al suono. Questo potrebbe includere cambiamenti a lungo termine nel comportamento (livello individuale) e nella distribuzione (livello sub popolazione) come ad esempio spostarsi dal sito di foraggiamento e riproduzione o alterare le rotte migratorie. In questo criterio non sono incluse risposte comportamentali minori come immersioni o brevi periodi di nuoto agitato compiuti da un singolo esemplare esposto alla fonte di disturbo (Halvorsen et al. 2017).

Il rischio relativo è stato classificato in 3 categorie (Alto, Moderato, Basso) e valutato in riferimento alla posizione relativa dell'animale rispetto alla sorgente di disturbo (V= vicina, dell'ordine di poche decine di metri; I= intermedia, qualche centinaia di metri; L=lontana, uno o più chilometri. Infine nel caso un particolare effetto non sia applicabile o sia considerato non probabile/possibile è stata inserita la dicitura NA (Halvorsen et al. 2017).

Le operazioni di trivellazione del microtunnel verranno interamente gestite ed eseguite nell'area del pozzo di spinta, situato a terra in località San Basilio in agro di Melendugno ad oltre 600 m dalla linea di costa, e procederanno in sotterraneo, ben al di sotto del piano campagna lungo tutto il tracciato del microtunnel fino a concludersi a circa 940 m dalla linea di costa dove la fresa verrà fermata, messa in sicurezza e resterà interrata sotto il fondo marino fino al momento del suo recupero che è previsto avvenga non prima del mese di ottobre 2018. In tale contesto si precisa quindi che nel periodo estivo non saranno condotte attività di costruzione in mare che prevedono interferenze con il fondale marino e le acque antistanti S. Foca.

In merito ai valori di emissione sonora previsti per le attività di scavo del microtunnel si ritiene possano essere trascurabili in intensità e non percepibili da parte delle tartarughe marine. Infatti, in primo luogo, anche a seguito della limitata velocità di perforazione della testa fresante (in media 7 giri al minuto) la frequenza sonora emessa è nell'ordine di 10-20 Hz mentre gli organismi marini (a partire dalle tartarughe marine percepiscono frequenze di molto superiori.

Inoltre la profondità alla quale avviene lo scavo rispetto al fondale marino contribuisce ad attutire ulteriormente rumore e vibrazione. Infine, in considerazione delle attività antropiche che già insistono nell'area di interesse è probabile che le emissioni sonore della testa fresante siano coperte dal rumore di fondo.

Il rumore di fondo in mare è dovuto a diversi fattori, sia fisici che biologici. Alle basse frequenze predominano i fattori fisici mentre alle alte frequenze dominano i sistemi di comunicazione degli organismi marini. In ambiente costiero prevalgono in particolare i suoni emessi da crostacei e pesci.

Nonostante il fatto che, a causa dell'aumento generale della pressione antropica sugli ecosistemi marini, la rumorosità di fondo dell'ambiente in cui vivono le tartarughe marine sia aumentata negli ultimi 30 anni. La tartaruga comune non ha mostrato alcun danno in termini di aree di foraggiamento (nonostante siano stati registrati livelli di rumorosità di fondo anche superiori ai 110 dB re 1 μ Pa; Samuel-Rhoads et al. 2005).

La maggior parte degli invertebrati marini noti per la produzione del suono lo fanno stridulando o sfregando insieme due parti del corpo. Ad esempio possono far vibrare i muscoli antennali, cigolare con l'addome. I granchi producono suoni facendo vibrare le loro appendici (zampe, appendici, coda), danzando, battendo insieme le parti del corpo e/o tamburellando una parte del corpo contro il substrato. Frequente lo sfregamento del carapace con i muscoli ad esso attaccati. Si tratta di segnali antipredatori, usati come meccanismo di difesa o per la predazione o per il corteggiamento.

A titolo di esempio informazioni di letteratura indicano che alcuni granchi producono treni sonori irregolari con ampia banda di impulsi (durata 0.4ms; SPLpk, 128dB, picco freq 20kHz). Mentre le aragoste emettono la maggior parte dell'energia sonora con segnali ad ultrasuoni nel range 20-55 kHz. L'energia potenti impulsi sonori concentrati nell'intervallo 2-75 kHz, con una frequenza di picco di 15 kHz. (Buscaino et al 2011).

Alcuni piccoli crostacei bentonici presenti in modo ubiquitario nel Mediterraneo generano una pressione acustica fino a 80 kPa a una distanza di 4 cm dalle loro appendici. La bolla prodotta per cavitazione delle loro chele raggiunge una velocità di 100 km/h e rilascia un suono che raggiunge 218 dB.

In generale i "cori" emessi dagli organismi marini sono un fattore ubiquitario, costante (con variazioni giorno / notte) e concentrato in area costiera. Questi cori si verificano con durata di alcune ore specialmente in primo mattino. La maggior parte dell'energia viene emessa a frequenze comprese tra 400 Hz e 4000 Hz, con picchi spettrali principalmente a 800 Hz.

In termini di intensità di suono (rumore) Tra i diversi organismi che emettono suoni nell'area sono noti i Capodogli (163 -236 dB sott'acqua a 1 m) i Delfini (194-219 dB), Tursiopi (fischio 125-173 dB) e i gamberetti (183 -189 dB).

Appare quindi evidente che il suono emesso dalla testa fresante, agendo a frequenze sonore bassissime e quindi, per quanto noto dalla letteratura, non percepibili dal sistema uditivo della tartaruga e basato su emissione di suono continuo alla sorgente (ulteriormente attutita dai molti metri di sedimento sovrastante e dalla massa d'acqua al di sopra) non potrà in alcun modo recare stress o risposta nelle tartarughe eventualmente intenzionate ad avvicinarsi alla battigia per la posa delle uova.

Tabella 4. Rischio potenziale derivante dall'esposizione di tartarughe marine a diverse fonti di disturbo sonoro (da Halvorsen et al. 2017).

Fonte	Mortalità o ferimento mortale	Danno recuperabile	Perdita temporanea dell'udito (TTS)	Copertura dei suoni ambientali	Risposta comportamentale
Esplosioni	>230 dB di picco	(V) Alto (I) Alto (L) Basso	(V) Alto (I) Alto (L) Basso	NA	(V) Alto (I) Alto (L) Basso
Posa pali e palanchi	210 dB SEL cum 0 >207 dB picco	(V) Alto (I) Basso (L) Basso	(V) Alto (I) Basso (L) Basso	(V) Alto (I) Moderato (L) Basso	(V) Alto (I) Moderato (L) Basso
Airgun per prospezioni sismiche	210 dB SEL cum 0 >207 dB picco	(V) Alto (I) Basso (L) Basso	(V) Alto (I) Basso (L) Basso	(V) Alto (I) Basso (L) Basso	(V) Alto (I) Moderato (L) Basso
Sonar navali a medie e basse frequenze	(V) Basso (I) Basso (L) Basso	(V) Basso (I) Basso (L) Basso	(V) Moderato (I) Moderato (L) Basso	(V) Basso (I) Basso (L) Basso	(V) Basso (I) Basso (L) Basso
Traffico marittimo e altre fonti continue di disturbo sonoro	(V) Basso (I) Basso (L) Basso	(V) Basso (I) Basso (L) Basso	(V) Moderato (I) Basso (L) Basso	(V) Alto (I) Alto (L) Moderato	(V) Alto (I) Moderato (L) Basso

6. Interventi di mitigazione del potenziale stress e identificazione delle condizioni di sicurezza

Gli interventi di mitigazione del rischio di stress per gli eventuali esemplari devono tenere conto di una serie di fattori e della loro eventuale contestualità. Di seguito sono elencati i dati di dettaglio delle attività di cantiere e del loro potenziale effetto per identificare le condizioni che minimizzino questo impatto.

Effetti del periodo di escavo rispetto alla deposizione delle uova: L'attività di escavo del microtunnel è prevista durare tutto il periodo di potenziale deposizione delle uova. La deposizione delle uova da parte di esemplari di tartaruga marina comune nell'area di interesse è avvenuta sempre nel mese di luglio ed il periodo di massima probabilità di deposizione è compreso tra il 15 giugno e fine luglio. Le attività di escavo dovrebbero già essere operative da settimane rispetto all'inizio della finestra utile per la deposizione della tartaruga marina (15 giugno).

Profondità di posizionamento del microtunnel: intorno a 16 m in corrispondenza della spiaggia. La natura e lo spessore del substrato garantiscono l'attenuazione del disturbo, già di lieve entità all'origine. Si ricorda che la profondità massima di un nido di tartaruga marina comune è di 0,6 m.

I dati della simulazione relativa al posizionamento presuntivo della testa fresante al momento del primo giorno di potenziale nidificazione delle tartarughe marine (i.e., 15 giugno), anche ove applicati in maniera conservativa, stimano che la testa fresante dovrebbe trovarsi ad almeno 100 m di distanza da costa. Ciò, associato alla profondità dello scavo, minimizza i rischi potenziali per eventuali nidi di tartaruga nell'area.

Orario di lavoro della trivella: si prevede un orario di lavoro di fatto continuativo h24. L'intensità prevista del rumore generato dalla testa fresante, simile o inferiore al disturbo generato dai natanti e l'assenza di impulsi ad alta energia, rendono l'esperienza di disturbo acustico da parte di un esemplare in avvicinamento graduale, riducendo quindi il rischio di possibili risposte di fuga o di evitamento attivo dovute a stimoli intensi ed improvvisi (tipo airgun).

Orario di lavoro del personale a terra: per minimizzare l'effetto di stress dovuto alla presenza umana non sarà previsto l'accesso da parte del personale addetto ai lavori nel tratto dell'arenile dal tramonto all'alba.

Presenta ed attività delle navi di appoggio: Nel periodo estivo sarà esclusa anche l'attività da parte di supply vessels o altre imbarcazioni in supporto tecnico alle attività di micro-tunneling.

Gestione dei trasporti: dal 1 giugno in poi non sarà utilizzata la strada litoranea (SP366) per i trasporti da parte dei mezzi pesanti diretti al cantiere situato nell'area del pozzo di spinta.

7. Attività di monitoraggio in situ proposta durante l'escavo

Per minimizzare le possibilità di effetti negativi derivanti dalle attività antropiche che complessivamente insisteranno sull'area di attività per l'escavo del microtunnel si potrà attuare un piano di monitoraggio delle deposizioni di tartaruga marina con la predisposizione di una dettagliata procedura di emergenza da adottare in caso di avvistamento della femmina nidificante. Il monitoraggio intensivo notturno della spiaggia di approdo della TAP (Figura 18) sarà condotto nel periodo di massima probabilità di deposizione che, nell'area di interesse, è stato conservativamente indicato essere di 45 giorni (15 giugno-30 luglio)

L'attività prevista per la prima azione consiste nel pattugliamento a piedi intensivo della spiaggia attraversata dal microtunnel per un'ampiezza conservativamente scelta di circa 600 metri. (Figura 18). Va notato a tal proposito che nel caso di utilizzo di airgun per prospezioni sismiche, la cui emissione di rumore è molto superiore a quella prodotta dall'attività di escavo, la zona di mitigazione prevista per le tartarughe marine è di 500 m (Nelms et al 2016).

Obiettivo di tale azione è l'individuazione della femmina nelle primissime fasi della deposizione onde consentire la tempestiva attivazione delle procedure di emergenza.

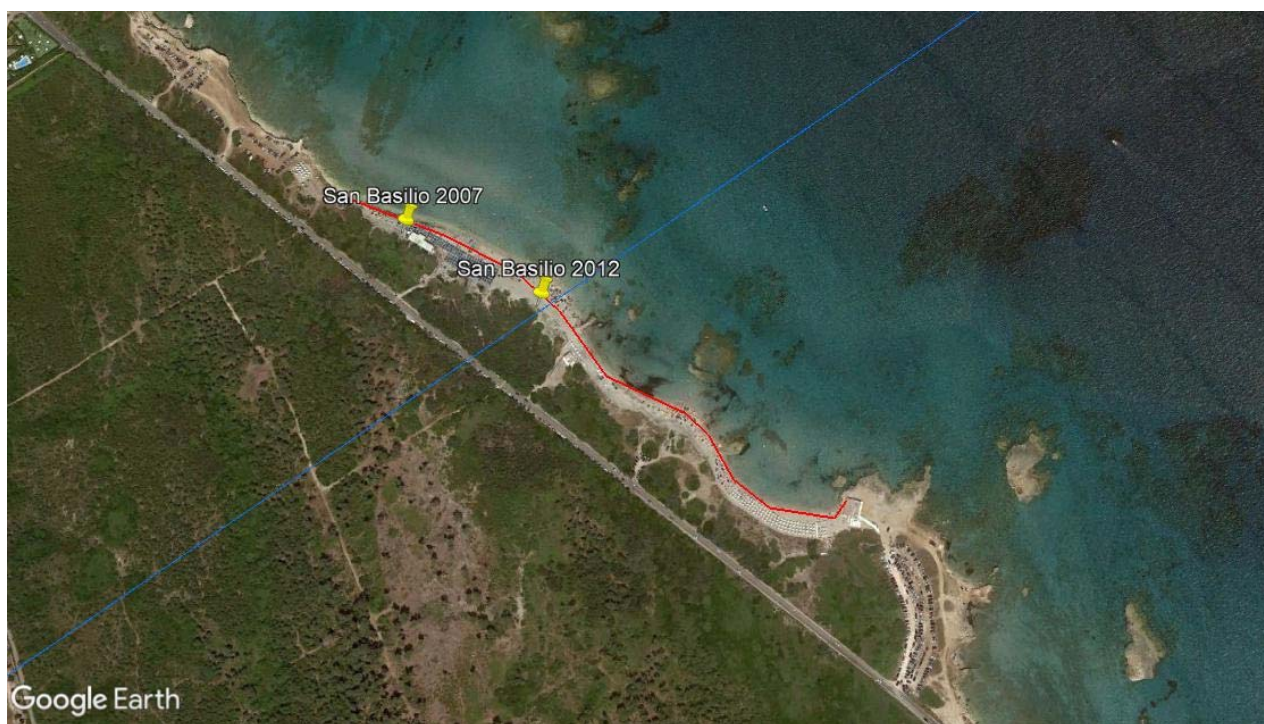


Figura 18. In Rosso è evidenziato il tratto di costa che sarà oggetto del pattugliamento intensivo notturno durante il periodo di massima probabilità delle deposizioni di tartaruga marina. In blu il percorso del microtunnel.

Il monitoraggio intensivo della spiaggia deve svolgersi esclusivamente nel periodo notturno (20.00-06.00) e deve essere effettuato da personale esperto adeguatamente formato nelle tecniche di monitoraggio delle deposizioni di tartaruga marina in grado di riconoscere la tartaruga o le sue tracce lasciate sulla spiaggia durante le diverse fasi della deposizione. Il pattugliamento va eseguito generalmente senza l'ausilio di luci artificiali. Torce potranno essere impiegate esclusivamente in assenza della tartaruga per illuminare momentaneamente strutture e segni sulla spiaggia o per compilare le schede di monitoraggio.

Il pattugliamento notturno sarà effettuato con un passaggio ogni circa 45 minuti per un totale di circa 8.5 km percorsi a notte. Si propone una copertura dell'area di potenziale interesse con due unità di personale esperto e copertura notturna per poter intervenire celermente ed in sicurezza in caso di avvistamento.

In caso di rilevamento di esemplari il personale che opera il pattugliamento non dovrà intervenire né avvicinare la tartaruga, mantenendo una distanza minima di sicurezza e adottando tutte le precauzioni previste dai protocolli di monitoraggio delle nidificazioni di tartaruga marina. L'esperto dovrà attivare la procedura di emergenza prevista per scongiurare il rischio di disturbo delle femmine durante la deposizione.

Il personale dedicato al monitoraggio lavorerà in stretta collaborazione con il l'ente locale autorizzato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare alla messa in sicurezza dei nidi ed alla manipolazione delle tartarughe marine, in deroga ai divieti di cui al DPR 357/97. Nell'eventualità non ve ne fossero si dovrà provvedere a richiedere l'autorizzazione specifica.

8. Procedure di emergenza in caso di rilievo di tartarughe nell'area di interesse

Nel caso in cui il personale esperto addetto dovesse identificare la presenza in mare o a terra di tartarughe marine, sarà messa in opera una procedura di emergenza per rimuovere ogni possibile condizione di stress.

La procedura proposta prevede una immediata segnalazione al responsabile dei lavori TAP per poter dare immediato stop ai lavori di escavo microtunnel.

Contestualmente i biologi addetti avranno cura di adoperarsi con strumenti e dispositivi già disponibili per dotare l'area di accesso della tartaruga dal mare con segnalazioni.

Dopo la eventuale deposizione delle uova e l'allontanamento dell'esemplare, l'area verrà dotata di sistemi di segnalazione e protezione del nido.

La ripresa dei lavori potrà avvenire solo dopo che la tartaruga avrà ripreso il mare.

Il nido oltre ad essere protetto viene monitorato e dotato di sensori per il rilevamento di alcune variabili ambientali che permettono, tramite apposito modello, di predire la schiusa con un margine di incertezza di +/- 2gg.

Successivamente possono essere predisposte, in collaborazione con le autorità competenti, sistemi di tagging o di "care" atti a massimizzare la sopravvivenza dei piccoli nati.

9. Conclusioni

I risultati del presente studio sono stati basati su raccolta di informazioni bibliografiche, su metanalisi di dati resi disponibili e su un aggiornamento dei nuovi censimenti (rispetto a tutti gli studi finora disponibili). Sono state inoltre utilizzate informazioni non ancora pubblicate su riviste scientifiche.

I dati sono stati incrociati con range di sensibilità delle tartarughe marine a specifiche frequenze di suono come da relazione tecnico – scientifica riportata in Appendice. In particolare nel caso della testa fresante, il rumore in acqua sarà basso e paragonabile a quello associato al rumore di fondo o a microtremori del suolo. In termini di vibrazioni, si stima inoltre che la velocità di picco delle vibrazioni prodotte dal moto ondoso registrata in condizioni di mare medie è 0.054 mm/s. Questo valore di fondo potrebbe rappresentare la condizione di vibrazione a cui sono generalmente esposte le uova di tartaruga deposte nel bagnasciuga; tale valore registrato, risulta essere 1.38 volte superiore di quello determinato in fase di scavo dalla testa fresante.

Inoltre eventuali disturbi sono ulteriormente attenuati dalla presenza di un layer superiore ai 10 metri dominato da sabbie e dalla sovrastante colonna d'acqua (presumibilmente superiore ai 5 m di profondità al 15 giugno).

Dai dati sono stati calcolati con *fuzzy analysis* valori di rischio che derivano dalla combinazione della vulnerabilità della specie ad ogni specifico tipo di fattore e dalla probabilità di evento dello stesso. I risultati sono riportati nella tabella 5.

Il rischio è stato valutato per le seguenti classi di potenziali problemi: 1) rumore e vibrazioni; 2) urto con natanti; 3) interazioni fisiche; 4) perdita di habitat (foraggiamento, nidificazione o migrazione).

Il rischio è stato mappato per categoria da 1 (molto elevato) a 6 (molto basso) e in sintesi appare “molto basso” (ovvero pari a 6) per tutte le categorie.

Il primo fattore di rischio infatti indica che alla luce delle vibrazioni e rumori emessi dalla testa fresante in azione continua, gli stessi sarebbero notevolmente inferiori al rumore di fondo presente in mare, e al disotto della soglia di percezione. L'intensità delle vibrazioni è potenzialmente inferiore a quella complessivamente emessa dalle forme microscopiche dello zooplancton che nuota nello stesso specchio acqueo.

Il secondo fattore determinato da urto con natanti è da intendersi come non riferibile alle attività di escavo del microtunnel in quanto non verranno utilizzati mezzi navali per la costruzione del microtunnel durante il periodo estivo.

Il terzo fattore di rischio appare nullo poiché il cantiere a terra è in area non accessibile alle tartarughe che non vanno mai oltre il limite di battigia (fino all'eventuale duna) e poiché non sono presenti strumenti o altre infrastrutture libere a mare che possano recare alcun tipo di danno o ferimento ancorché involontario.

Il quarto fattore di rischio appare anch'esso trascurabile poiché il microtunnel non interferisce con le caratteristiche strutturali e funzionali dell'area del meso- e sopralitorale. In quanto tale non può

alterare fisicamente le aree di nidificazione né potrebbe danneggiare in alcun modo i nidi o le uova in essi contenute anche ove deposte. Infine, per le stesse ragioni appare impossibile che le attività di escavo del microtunnel o la sua presenza possano determinare alterazioni delle rotte migratorie di questa specie di rettili marini.

Questi risultati indicano che il microtunnel nel corso della attività, pur sovrapponendosi temporalmente al periodo di nidificazione e avvenendo in area utilizzata da *Caretta caretta*, non potrà determinare in alcun modo mortalità di individui né determinerà alcun tipo di stress sugli esemplari presenti a mare o intenzionati a venire a costa per la eventuale deposizione delle uova. Inoltre, alla luce delle caratteristiche del microtunnel (con posizionamento a diversi metri sotto la superficie del mare) non potrà determinare in alcun modo perdita di habitat, perdita di aree di foraggiamento o alterazione delle rotte migratorie.

L'approccio cautelativo e precauzionale può in ogni caso avvalersi di un sistema efficace di monitoraggio notturno della durata di ca 45 giorni (compreso tra 15 giugno e 30 luglio) con personale specializzato per identificare presenza di tartarughe in area e/o eventi di nidificazione e consentirà la messa in opera di procedure di emergenza atte a garantire le condizioni ottimali per la deposizione delle uova e la protezione del nido.

Tabella 5. Tabella di sintesi dei potenziali impatti delle attività di scavo del microtunnel sulle tartarughe marine.

Rischio	Impatto potenziale per le tartarughe marine	Potenziale impatto peggiore per le Tartarughe marine	Classifica delle conseguenze (massimo=1 minimo = 6)	Classifica probabilità (1-6)	Livello di rischio
Rumore e vibrazioni	Vibrazioni prodotte dalla attività di escavo della testa fresante.	Potenziale impatto sul nido causato dalle vibrazioni. Potenziale induzione di risposta comportamentale di fuga nelle femmine nidificanti	Livello Conseguenze potenziali = 5 (basso) - Impatti accidentali sugli animali e l'habitat	Livello probabilità = 6 (Bassissimo/trascurabile). Livello rumore e vibrazioni trascurabile. Profondità trivella al di sotto della superficie del mare elevata (ca 16 m). Testa fresante e relativo fronte di scavo potenzialmente già a 100 m dalla linea di costa all'inizio del periodo di nidificazione.	Livello rischio = 6 Bassissimo/Trascurabile
Urto con natanti	Danno anche grave derivante dall'urto accidentale con i natanti impiegati per la fase di cantiere	Morte o lesioni gravi alle tartarughe	Livello di danno = 1-2 (grave). Le lesioni da impatto con natanti hanno una bassa probabilità di guarigione	Livello di probabilità = 6 (Evento altamente improbabile/Non applicabile). Non verranno utilizzate navi durante il periodo estivo per la costruzione del microtunnel	Livello rischio = 6 Bassissimo/Trascurabile
Interazioni fisiche	Interazioni con le parti o le attrezzature utilizzate durante la fase di cantiere	Morte o lesioni da contatto	Livello di danno = 2/3 (medio-grave). Impatti collaterali, impatti a breve termine sugli habitat, specie o fattori ambientali	Livello di probabilità = 6 (altamente improbabile). Non vi sono macchinari che lavorano in al di sopra della superficie del mare	Livello rischio = 6 Bassissimo
Perdita di habitat	Perdita di habitat per nidificazione o foraggiamento, perdita o alterazione del corridoio migratorio stagionale	Effetti indiretti, perdita della fonte di cibo o di aree idonee alla nidificazione, spostamento e rilocalizzazione di animali altrove per cercare aree idonee	Livello di danno = 6 Mancanza di possibilità di alterazione degli habitat o della disponibilità di foraggiamento	Livello di probabilità = 6 L'area di eventuale nidificazione, così come l'area di foraggiamento o di migrazioni non possono essere compromessa dal microtunnel poiché sotterraneo. Non è possibile danno ai nidi o alle uova deposte, poiché la profondità massima di deposizione è di 0.6 m mentre il microtunnel passa a diversi metri sotto la superficie del sedimento.	Livello di rischio = 6 Bassissimo/Trascurabile

10. Riferimenti bibliografici

1. Abalo-Morla, S., Marco, A., Tomás, J., Revuelta, O., Abella, E., Marco, V., Crespo-Picazo, J.L., Fernández, C., Valdés, F., del Carmen Arroyo, M., Montero, S., Vázquez, C., Eymar, J., Esteban, J.A., Antonio, J., Pelegri, J., & Montero, S. (2018). Survival and dispersal routes of head-started loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) post-hatchlings in the Mediterranean Sea. *Marine Biology*, 165(3), 51.
2. Bagda, E., Bardakci, F., & Turkozan, O. (2012). Lower genetic structuring in mitochondrial DNA than nuclear DNA among the nesting colonies of green turtles (*Chelonia mydas*) in the Mediterranean. *Biochemical Systematics and Ecology*, 43, 192-199.
3. Bartol, S., & Musick, J. (2002) Sensory Biology of Sea Turtles. In: *The Biology of Sea Turtles* Vol 2, Lutz, P.L., Musick, J.A., Wyneken, J. (Eds). CRC press, Boca Raton, pp 79-102.
4. Bartol, S.M. (2008) A review of auditory function of sea turtles. *Bioacoustics* 17:57-59
5. Başkale, E., Katilmiş, Y., Azmaz, M., Sözbilen, D., Polat, F., Lambropoulos, M., et al., (2016). Monitoring and conservation of loggerhead turtle's nests on Fethiye Beaches, Turkey. *Biharean Biologist*, 10(1), 20-23.
6. Bentivegna, F. (2002) Intra-Mediterranean migrations of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) monitored by satellite telemetry. *Marine Biology* 141:795-800.
7. Bentivegna, F., Breber, P., & Hochscheid, S. (2002). Cold stunned loggerhead turtles in the South Adriatic Sea. *Marine Turtle Newsletter*, 97(1).
8. Bentivegna, F., Ciampa, M., & Hochscheid, S. (2011). The Presence of the Green Turtle, *Chelonia mydas*, in Italian Coastal Waters During the Last Two Decades. *Marine Turtle Newsletter*, (131), 41.
9. Bentivegna, F., Rasotto, M. B., De Lucia, G. A., Secci, E., Massaro, G., Panzera, S., Caputo, C., Carlino, P., Teregilia, G., & Hochscheid, S. (2010). Loggerhead turtle (*Caretta caretta*) nests at high latitudes in Italy: A call for vigilance in the western Mediterranean. *Chelonian Conservation and Biology*, 9(2), 283-289.
10. Broderick, A. C., Coyne, M. S., Fuller, W. J., Glen, F., & Godley, B. J. (2007). Fidelity and overwintering of sea turtles. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 274(1617), 1533-1539.
11. Broderick, A. C., Coyne, M. S., Fuller, W. J., Glen, F., & Godley, B. J. (2007). Fidelity and overwintering of sea turtles. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 274(1617), 1533-1539.
12. Broderick, A. C., Glen, F., Godley, B. J., & Hays, G. C. (2003). Variation in reproductive output of marine turtles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 288(1), 95-109.
13. Buck, E. H. (1995, May). Acoustic Thermometry of Ocean Climate: Marine Mammal Issues. Library of congress washington dc congressional research service.
14. Camedda, A., Marra, S., Matiddi, M., Massaro, G., Coppa, S., Perilli, A., Rugliu, A., Briguglio, P., & de Lucia, G. A. (2014). Interaction between loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) and marine litter in Sardinia (Western Mediterranean Sea). *Marine environmental research*, 100, 25-32.
15. Campani, T., Baini, M., Giannetti, M., Cancelli, F., Mancusi, C., Serena, F., Marsili, L., Casini, S., & Fossi, M. C. (2013). Presence of plastic debris in loggerhead turtle stranded along the Tuscany coasts of the Pelagos Sanctuary for Mediterranean Marine Mammals (Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 74(1), 225-230.

16. Campbell, L. M., & Smith, C. (2006). What makes them pay? Values of volunteer tourists working for sea turtle conservation. *Environmental management*, 38(1), 84-98.
17. Campbell, LM. (2007) Local conservation practice and global discourse: A political ecology of sea turtle conservation. *Annals of the Association of American Geographers*, 97:313-334.
18. Cardona, L., Revelles, M., Parga, ML., Tomas, J., Aguilar, A., Alegre, F., Raga, A., & Ferrer, X. (2009) Habitat use by loggerhead sea turtles *Caretta caretta* off the coast of eastern Spain results in a high vulnerability to neritic fishing gear. *Marine Biology*, 156:2621-2630.
19. Carreras, C., Argüello, C., Felipe López-Jurado, L., Calabuig, P., Bellido Lopez, J., Castillo, J., Sánchez, P., Medina, P., Tomás, J., Gozalbes, P., Fernández, G., Marco, A., & Cardona, L. (2014) Origin and dispersal routes of foreign green and Kemp's ridley turtles in Spanish Atlantic and Mediterranean waters, *Amphibia-Reptilia*, 35: 76-86.
20. Carreras, C., Cardona, L., & Aguilar, A. (2004). Incidental catch of the loggerhead turtle *Caretta caretta* off the Balearic Islands (western Mediterranean). *Biological Conservation*, 117(3), 321-329.
21. Carreras, C., Pascual, M., Cardona, L., Marco, A., Bellido, JJ., Castillo, JJ., Tomas, J., Raga, JA., Sanfelix, M., Fernandez, G., & Aguilar, A. (2011) Living Together but Remaining Apart: Atlantic and Mediterranean Loggerhead Sea Turtles (*Caretta caretta*) in Shared Feeding Grounds. *Journal of Heredity*, 102:666-677.
22. Carreras, C., Pascual, M., Tomas, J., Marco, A., Hochscheid, S., Castillo, JJ., Gozalbes, P., Parga, M., Piovano, S., & Cardona, L. (2018) Sporadic nesting reveals long distance colonisation in the philopatric loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*). *Scientific Reports*, 8, doi:10.1038/s41598-018-19887-w
23. Carreras, C., Pont, S., Maffucci, F., Pascual, M., Barcelo, A., Bentivegna, F., Cardona, L., Alegre, F., SanFelix, M., Fernandez, G., & Aguilar, A. (2006) Genetic structuring of immature loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in the Mediterranean Sea reflects water circulation patterns. *Marine Biology*, 149:1269-1279.
24. Casale P., & Margaritoulis, D. (2010) Sea turtle in the Mediterranean Sea: distributions, threats and conservation priorities In: Casale P, Margaritoulis D (eds). IUCN, Gland, Switzerland.
25. Casale, P. (2011) Sea turtle by-catch in the Mediterranean. *Fish and Fisheries*, 12:299-316.
26. Casale, P., & Mariani, P. (2014). The first 'lost year' of Mediterranean sea turtles: dispersal patterns indicate subregional management units for conservation. *Marine Ecology Progress Series*, 498, 263-274.
27. Casale, P., Affronte, M., Scaravelli, D., Lazar, B., Vallini, C., & Luschi, P. (2012). Foraging grounds, movement patterns and habitat connectivity of juvenile loggerhead turtles (*Caretta caretta*) tracked from the Adriatic Sea. *Marine biology*, 159(7), 1527-1535.
28. Casale, P., Affronte, M., Scaravelli, D., Lazar, B., Vallini, C., & Luschi, P. (2012). Foraging grounds, movement patterns and habitat connectivity of juvenile loggerhead turtles (*Caretta caretta*) tracked from the Adriatic Sea. *Marine biology*, 159(7), 1527-1535.
29. Casale, P., Broderick, A. C., Freggi, D., Mencacci, R., Fuller, W. J., Godley, B. J., & Luschi, P. (2012). Long-term residence of juvenile loggerhead turtles to foraging grounds: a potential conservation hotspot in the Mediterranean. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 22(2), 144-154.

30. Casale, P., Freggi, D., Cina, A., & Rocco, M. (2013). Spatio-temporal distribution and migration of adult male loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in the Mediterranean Sea: further evidence of the importance of neritic habitats off North Africa. *Marine Biology*, 160(3), 703-718.
31. Casale, P., Freggi, D., Cina, A., & Rocco, M. (2013). Spatio-temporal distribution and migration of adult male loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in the Mediterranean Sea: further evidence of the importance of neritic habitats off North Africa. *Marine Biology*, 160(3), 703-718.
32. Casale, P., Freggi, D., Paduano, V., & Oliverio, M. (2016). Biases and best approaches for assessing debris ingestion in sea turtles, with a case study in the Mediterranean. *Marine pollution bulletin*, 110(1), 238-249.
33. Casale, P., Nicolosi, P., Freggi, D., Turchetto, M., & Argano, R. (2003). Leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) in Italy and in the Mediterranean basin. *Herpetological Journal*, 13(3), 135-140.
34. Casale, P., Simone, G., Conoscitore, C., Conoscitore, M., & Salvemini, P. (2012). The Gulf of Manfredonia: a new neritic foraging area for loggerhead sea turtles in the Adriatic Sea. *Acta Herpetologica*, 7(1), 1-12.
35. Clusa, M., Carreras, C., Pascual, M., Demetropoulos, A., Margaritoulis, D., Rees, A.F., Hamza, A.A., Khalil, M., Aureggi, M., Levy, Y., Turkozan, O., Marco, A., Aguilar, A., & Cardona, L. (2013a). Mitochondrial DNA reveals Pleistocene colonisation of the Mediterranean by loggerhead turtles (*Caretta caretta*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 439:15-24.
36. Clusa, M., Carreras, C., Pascual, M., Gaughran, S., Piovano, S., Giacoma, C., Fernández, G., Levy, Y., Tomás, J., Raga, J., Maffucci, F., Hochscheid, S., Aguilar, A., & Cardona, L. (2013b). Fine-scale distribution of juvenile Atlantic and Mediterranean loggerhead turtles (*Caretta caretta*) in the Mediterranean Sea. *Marine Biology*, 161(3), 509-519:1-11.
37. De Ruiter, S. L., & Doukara, K. L. (2012). Loggerhead turtles dive in response to airgun sound exposure. *Endangered Species Research*, 16(1), 55-63.
38. Demetropoulos, A., & Hadjichristophorou, M. (2010). Cyprus-Region B. Sea Turtles in the Mediterranean: Distribution, Threats and Conservation Policies. IUCN, Gland, Switzerland.
39. Eckert, S. A., Moore, J. E., Dunn, D. C., van Buiten, R. S., Eckert, K. L., & Halpin, P. N. (2008). Modeling loggerhead turtle movement in the Mediterranean: importance of body size and oceanography. *Ecological Applications*, 18(2), 290-308.
40. Encalada, S. E., Lahanas, P. N., Bj  rndal, K. A., Bolten, A. B., Miyamoto, M. M., & Bowen, B. W. (1996). Phylogeography and population structure of the Atlantic and Mediterranean green turtle *Chelonia mydas*: a mitochondrial DNA control region sequence assessment. *Molecular Ecology*, 5(4), 473-483.
41. Franzellitti, S., Locatelli, C., Gerosa, G., Vallini, C., & Fabbri, E. (2004). Heavy metals in tissues of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the northwestern Adriatic Sea. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 138(2), 187-194.
42. Fuller, W. J., Broderick, A. C., Phillips, R. A., Silk, J. R. D., & Godley, B. J. (2008). Utility of geolocating light loggers for indicating at-sea movements in sea turtles. *Endangered Species Research*, 4(1-2), 139-146.

43. Garofalo, L., Mastrogiacomo, A., Casale, P., Carlini, R., Eleni, C., Freggi, D., Gelli, D., Knittweis, L., Mifsud, C., Mingozi, T., Novarini, N., Scaravelli, D., Scillitani, G., Oliverio, M., & Novelletto, A. (2013). Genetic characterization of central Mediterranean stocks of the loggerhead turtle (*Caretta caretta*) using mitochondrial and nuclear markers, and conservation implications. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 23(6): 868-884.
44. Godley, B. J., Broderick, A. C., Glen, F., & Hays, G. C. (2003). Post-nesting movements and submergence patterns of loggerhead marine turtles in the Mediterranean assessed by satellite tracking. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 287(1), 119-134.
45. Gómez de Segura, A., Tomás, J., Pedraza, S. N., Crespo, E. A., & Raga, J. A. (2006). Abundance and distribution of the endangered loggerhead turtle in Spanish Mediterranean waters and the conservation implications. *Animal Conservation*, 9(2), 199-206.
46. Groombridge, B. (1990). Marine turtles in the Mediterranean: distribution, population status, conservation (No. 18-48). Council of Europe.
47. Halpin, P.N., A.J. Read, E. Fujioka, B.D. Best, B. Donnelly, L.J. Hazen, C. Kot, K. Urian, E. LaBrecque, A. Dimatteo, J. Cleary, C. Good, L.B. Crowder, and K.D. Hyrenbach. (2009). OBIS-SEAMAP: The world data center for marine mammal, sea bird, and sea turtle distributions. *Oceanography*, 22(2):104-115.
48. Halvorsen, M. B., Popper, A. N., Hawkins, A. D., Mann, D., & Carlson, T. J. (2017). Revisions to the sound exposure guidelines for fish and sea turtles report. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 141(5), 3788-3788.
49. Hamann, M., Godfrey, M. H., Seminoff, J. A., Arthur, K., Barata, P. C. R., Bjørndal, K. A., et al., (2010). Global research priorities for sea turtles: informing management and conservation in the 21st century. *Endangered species research*, 11(3), 245-269.
50. Hamza, A. (2010). Libya. In: Casale P, Margaritoulis D (eds) *Sea Turtle in the Mediterranean Sea Distribution, threats and conservation priorities*. IUCN, Gland, Switzerland
51. Haxhiu, I. (2010). Albania. In: CASALE, P. & MARGARITOU LIS, D. (eds.), *Sea Turtles in the Mediterranean*. IUCN, Gland. p. 15–28.
52. Hays, G. C., Fossette, S., Katselidis, K. A., Mariani, P., & Schofield, G. (2010). Ontogenetic development of migration: Lagrangian drift trajectories suggest a new paradigm for sea turtles. *Journal of the Royal Society Interface*, 7(50), 1319-1327.
53. Hays, G. C., Fossette, S., Katselidis, K. A., Schofield, G., & Gravenor, M. B. (2010). Breeding periodicity for male sea turtles, operational sex ratios, and implications in the face of climate change. *Conservation Biology*, 24(6), 1636-1643.
54. Hazel, J., & Gyuris, E. (2006). Vessel-related mortality of sea turtles in Queensland, Australia. *Wildlife Research*, 33:149-154.
55. Hetherington, T. (2008). Comparative anatomy and function of hearing in aquatic amphibians, reptiles, and birds. *Sensory evolution on the threshold: adaptations in secondarily aquatic vertebrates*, 183-209.
56. Hochscheid, S., Bentivegna, F., & Hays, G. C. (2005). First records of dive durations for a hibernating sea turtle. *Biology letters*, 1(1), 82-86.
57. Hochscheid, S., Travaglini, A., Maffucci, F., Hays, G. C., & Bentivegna, F. (2013). Since turtles cannot talk: What beak movement sensors can tell us about the feeding ecology of neritic loggerhead turtles, *Caretta caretta*. *Marine Ecology*, 34(3), 321-333.

58. Holcer, D., Fortuna, C., & Mackelworth, P.C. (2015). Adriatic Sea: Important areas for conservation of cetaceans. UNEP-MAP-RAC/SPA, Tunis: pp69.
59. Kamezaki, N. (2003). What is a loggerhead turtle? The morphological perspective. In: Bolten, A.B. & Witherington, B.E. (Eds.). *Loggerhead Sea Turtles*. Smithsonian Books, Washington, DC: pp. 28–43.
60. Karaa, S., Maffucci, F., Jribi, I., Bologna, M. A., Borra, M., Biffali, E., Brandai, MN., & Hochscheid, S. (2016). Connectivity and stock composition of loggerhead turtles foraging on the North African continental shelf (Central Mediterranean): implications for conservation and management. *Marine Ecology*, 37(5), 1103-1115.
61. Kaska, Y., Celik, A., Bag, H., Aureggi, M., Özel, K., Elçi, A., Kaska, A., & Elçi, L. (2004). Heavy metal monitoring in stranded sea turtles along the Mediterranean coast of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 13(8), 769-776.
62. Kaska, Y., Furness, R. W., & Baran, I. (2000). Temperature determined pattern of hatching and emergence of sea turtles in the Eastern Mediterranean. In *EIGHTEENTH INTERNATIONAL SEA TURTLE SYMPOSIUM* (p. 198).
63. Katselidis, K. A., Schofield, G., Stamou, G., Dimopoulos, P., & Pantis, J. D. (2013b). Evidence-based management to regulate the impact of tourism at a key marine turtle rookery on Zakynthos Island, Greece. *Oryx*, 47(4), 584-594.
64. Lauriano, G., Panigada, S., Casale, P., Pierantonio, N., & Donovan, G. P. (2011). Aerial survey abundance estimates of the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* in the Pelagos Sanctuary, northwestern Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 437, 291-302.
65. Lazar, B., Borboroglu, P. G., Tvrtković, N., & Žiža, V. (2003, January). Temporal and spatial distribution of the loggerhead sea turtle, *Caretta caretta*, in the eastern Adriatic Sea: a seasonal migration pathway? In *Twenty-second Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation* (22; 2002).
66. Lazar, B., Casale, P., Tvrtkovic, N., Kozul, V., Tutman, P., & Glavic, N. (2004). The presence of the green sea turtle, *Chelonia mydas*, in the Adriatic Sea. *Herpetological journal*, 14(3), 143-147.
67. Lazar, B., Gračan, R., Katić, J., Zavodnik, D., Jaklin, A., & Tvrtković, N. (2011). Loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) as bioturbators in neritic habitats: an insight through the analysis of benthic molluscs in the diet. *Marine Ecology*, 32(1), 65-74.
68. Lazar, B., Margaritoulis, D., & Tvrtković, N. (2004). Tag recoveries of the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* in the eastern Adriatic Sea: implications for conservation. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 84(2), 475-480.
69. Lazar, B., Margaritoulis, D., & Tvrtković, N. (2004b). Tag recoveries of the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* in the eastern Adriatic Sea: implications for conservation. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 84(2), 475-480.
70. Lazar, B., Z'uljevic, A., & Holcer, D. (2010). Diet composition of a green turtle, *Chelonia mydas*, from the Adriatic Sea. *Natura Croatica*, 19(1), 263-271.
71. Levy, Y., Keren, T., Leader, N., Weil, G., Tchernov, D., & Rilov, G. (2017). Spatiotemporal hotspots of habitat use by loggerhead (*Caretta caretta*) and green (*Chelonia mydas*) sea turtles in the Levant basin as tools for conservation. *Marine Ecology Progress Series*, 575, 165-179.

72. Luschi, P., & Casale, P. (2014). Movement patterns of marine turtles in the Mediterranean Sea: a review. *Italian Journal of Zoology*, 81(4), 478-495.
73. Luschi, P., Mencacci, R., Vallini, C., Ligas, A., Lambardi, P., & Benvenuti, S. (2013). Long-term tracking of adult loggerhead turtles (*Caretta caretta*) in the Mediterranean Sea. *Journal of Herpetology*, 47(2), 227-231.
74. Maffucci, F., Corrado, R., Palatella, L., Borra, M., Marullo, S., Hochscheid, S., Lacorata, G., & Iudicone, D. (2016). Seasonal heterogeneity of ocean warming: a mortality sink for ectotherm colonizers. *Scientific reports*, 6, 23983.
75. Maffucci, F., Kooistra, W., & Bentivegna, F. (2006). Natal origin of loggerhead turtles, *Caretta caretta*, in the neritic habitat off the Italian coasts, Central Mediterranean. *Biological Conservation*, 127(2), 183-189.
76. Margaritoulis, D., & Panagopoulou, A. (2010). Greece. In: Casale P, Margaritoulis D (eds) *Sea turtles in the Mediterranean: Distribution, threats and conservation priorities*. IUCN, Gland, Switzerland.
77. Margaritoulis, D., Argano, R., Baran, I., Bentivegna, F., Bradai, MN., Caminas, JA., Casale, P., De Metrio, G., Demetropoulos, A., Gerosa, G., Godley, BJ., Haddoud, DA., Houghton, JD., Laurent, L., & Lazar, B. (2003). Loggerhead turtles in the Mediterranean sea: present knowledge and Conservation perspectives. In: Bolten A, Witherington B (eds) *Loggerhead sea turtles*. Smithsonian Books, Washington.
78. Marra, M., Scillitani, G., Flore, G., Zaccaria, G., Capodiferro, T., Ciccolella, A., Marzano, G., de Franco, F., & Corriero, G. (2015). Analisi cartografica preliminare delle nidificazioni (2006-2013) e realizzazione di un database degli spiaggiamenti (1994-2013) della Tartaruga comune *Caretta caretta* lungo le coste pugliesi. In *Atti X Congresso Nazionale Societas Herpetologica Italica*, Genova (pp. 393-398).
79. Matiddi, M., Hochscheid, S., Camedda, A., Bains, M., Cocumelli, C., Serena, F., Tomassetti, P., Travaglini, A., Marra, S., Campani, T., Scholl, F., Mancusi, C., Amato, E., Briguglio, P., Maffucci, F., Fossi, MC., Bentivegna, F., & de Lucia, GA. (2017). Loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*): A target species for monitoring litter ingested by marine organisms in the Mediterranean Sea. *Environmental Pollution*, 230:199-209.
80. McCarthy, E. (2004). *International Regulation of Underwater Sound: Establishing Rules and Standards to Address Ocean Noise Pollution*. Dissertations and Master's Theses (Campus Access). Paper AAI3103712. <http://digitalcommons.uri.edu/dissertations/AAI3103712>.
81. McCauley, R. D., Fewtrell, J., Duncan, A. J., Jenner, C., Jenner, M. N., Penrose, J. D., Prince, A., Murdoch, AJ., & McCabe, K. (2000). Marine seismic surveys—a study of environmental implications. *The APPEA Journal*, 40(1), 692-708.
82. McKenzie, C., Godley, B. J., Furness, R. W., & Wells, D. E. (1999). Concentrations and patterns of organochlorine contaminants in marine turtles from Mediterranean and Atlantic waters. *Marine Environmental Research*, 47(2), 117-135.
83. Mingozi, T., Masciari, G., Paolillo, G., Pisani, B., Russo, M., & Massolo, A. (2007). Discovery of a regular nesting area of loggerhead turtle *Caretta caretta* in southern Italy: a new perspective for national conservation. *Biodiversity and Conservation*, 16(12), 3519-3541.
84. Mingozi, T., Mencacci, R., Cerritelli, G., Giunchi, D., & Luschi, P. (2016). Living between widely separated areas: Long-term monitoring of Mediterranean loggerhead turtles sheds

- light on cryptic aspects of females spatial ecology. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 485, 8-17.
85. Monzón-Argüello, C., Rico, C., Carreras, C., Calabuig, P., Marco, A., & López-Jurado, L. F. (2009). Variation in spatial distribution of juvenile loggerhead turtles in the eastern Atlantic and western Mediterranean Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 373(2), 79-86.
 86. NARO-MACIEL, E., Reid, B., Fitzsimmons, N. N., Le, M., Desalle, R. O. B., & Amato, G. (2010). DNA barcodes for globally threatened marine turtles: a registry approach to documenting biodiversity. *Molecular Ecology Resources*, 10(2), 252-263.
 87. Nelms, S. E., Piniak, W. E., Weir, C. R., & Godley, B. J. (2016). Seismic surveys and marine turtles: An underestimated global threat? *Biological conservation*, 193, 49-65.
 88. Nunny, R., Graham, E., & Bass, S. (2008). Do sea turtles use acoustic cues when nesting? NOAA Tech Mem, Book NMFS SEFSC No. 582.
 89. O'Hara, J., & Wilcox, J. R. (1990). Avoidance responses of loggerhead turtles, *Caretta caretta*, to low frequency sound. *Copeia*, 1990(2), 564-567.
 90. Pike, D. A. (2013). Climate influences the global distribution of sea turtle nesting. *Global Ecology and Biogeography*, 22(5), 555-566.
 91. Rees, A. F., Alfaro-Shigueto, J., Barata, P. C. R., Bjorndal, K. A., Bolten, A. B., Bourjea, J., et al., (2016). Are we working towards global research priorities for management and conservation of sea turtles?. *Endangered Species Research*, 31, 337-382.
 92. Rees, A. F., Carreras, C., Broderick, A. C., Margaritoulis, D., Stringell, T. B., & Godley, B. J. (2017). Linking loggerhead locations: using multiple methods to determine the origin of sea turtles in feeding grounds. *Marine biology*, 164(2), 30.
 93. Revelles, M., Camiñas, J. A., Cardona, L., Parga, M., Tomás, J., Aguilar, A., Alegre, F., Raga, A., Bertolero, A., & Oliver, G. (2008). Tagging reveals limited exchange of immature loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) between regions in the western Mediterranean. *Scientia Marina*, 72(3), 511-518.
 94. Revelles, M., Carreras, C., Cardona, L., Marco, A., Bentivegna, F., Castillo, J. J., de Martino, G., Mons, J.L., Smith, M.B., Rico, C., Pascual, M., & Pascual, M. (2007). Evidence for an asymmetrical size exchange of loggerhead sea turtles between the Mediterranean and the Atlantic through the Straits of Gibraltar. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 349(2), 261-271.
 95. Richardson, W. J., Finley, K. J., Miller, G. W., Davis, R. A., & Koski, W. R. (1995). Feeding, social and migration behavior of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, in Baffin Bay vs. the Beaufort Sea—regions with different amounts of human activity. *Marine mammal science*, 11(1), 1-45.
 96. Saied, A., Maffucci, F., Hochscheid, S., Dryag, S., Swayeb, B., Borra, M., Ouerghi, A., Procaccini, G., & Bentivegna, F. (2012). Loggerhead turtles nesting in Libya: an important management unit for the Mediterranean stock. *Marine Ecology Progress Series*, 450, 207-218.
 97. Samuel, Y., Morreale, S. J., Clark, C. W., Greene, C. H., & Richmond, M. E. (2005). Underwater, low-frequency noise in a coastal sea turtle habitat. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(3), 1465-1472.

98. Schofield, G., Dimadi, A., Fossette, S., Katselidis, K. A., Koutsoubas, D., Lilley, M. K., Luckman, A., Pantis, J.D., Karagouni, A.D., & Hays, G. C. (2013). Satellite tracking large numbers of individuals to infer population level dispersal and core areas for the protection of an endangered species. *Diversity and Distributions*, 19(7), 834-844.
99. Schofield, G., Hobson, V. J., Fossette, S., Lilley, M. K., Katselidis, K. A., & Hays, G. C. (2010). Biodiversity Research: fidelity to foraging sites, consistency of migration routes and habitat modulation of home range by sea turtles. *Diversity and Distributions*, 16(5), 840-853.
100. Schofield, G., Hobson, V. J., Fossette, S., Lilley, M. K., Katselidis, K. A., & Hays, G. C. (2010). Biodiversity Research: fidelity to foraging sites, consistency of migration routes and habitat modulation of home range by sea turtles. *Diversity and Distributions*, 16(5), 840-853.
101. Schofield, G., Hobson, V. J., Fossette, S., Lilley, M. K., Katselidis, K. A., & Hays, G. C. (2010a). Biodiversity Research: fidelity to foraging sites, consistency of migration routes and habitat modulation of home range by sea turtles. *Diversity and Distributions*, 16(5), 840-853.
102. Schofield, G., Hobson, V.J., Fossette, S., Lilley, M.K., Katselidis, K.A., & Hays, G.C. (2010a). Biodiversity research: Fidelity to foraging sites, consistency of migration routes and habitat modulation of home range by sea turtles. *Diversity and Distributions*, 16:840-853.
103. Schofield, G., Hobson, V. J., Lilley, M. K., Katselidis, K. A., Bishop, C. M., Brown, P., & Hays, G. C. (2010b). Inter-annual variability in the home range of breeding turtles: implications for current and future conservation management. *Biological Conservation*, 143(3), 722-730.
104. Schofield, G., Scott, R., Katselidis, K. A., Mazaris, A. D., & Hays, G. C. (2015). Quantifying wildlife-watching ecotourism intensity on an endangered marine vertebrate. *Animal conservation*, 18(6), 517-528.
105. Sella, I. (1982). Sea turtles in the eastern Mediterranean and northern Red Sea. *Biology and conservation of sea turtles*, 417-423.
106. Seminoff, J., Balazs, G.H., Dutton, P., Eguchi, T., Haas, H., Hargrove, S., Klemm, D., Lauritsen, A.L., MacPherson, S., Opay, P., Possardt, E., Van Houtan, K.S., & Waples, R. (2014). Green turtle (*Chelonia mydas*) Status Review under the U.S. Endangered Species Act.
107. S  n  gas, J. B., Hochscheid, S., Groul, J. M., Lagarrigue, B., & Bentivegna, F. (2009). Discovery of the northernmost loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) nest. *Marine Biodiversity Records*, 2.
108. Shamblin, B. M., Bolten, A. B., Abreu-Grobois, F. A., Bjorndal, K. A., Cardona, L., Carreras, C., et al., (2014). Geographic patterns of genetic variation in a broadly distributed marine vertebrate: new insights into loggerhead turtle stock structure from expanded mitochondrial DNA sequences. *PLoS One*, 9(1), e85956.
109. Snape, R. T., Broderick, A. C.,     ek, B. A., Fuller, W. J., Glen, F., Stokes, K., & Godley, B. J. (2016). Shelf life: neritic habitat use of a turtle population highly threatened by fisheries. *Diversity and Distributions*, 22(7), 797-807.
110. Stokes, K. L., Broderick, A. C., Canbolat, A. F., Candan, O., Fuller, W. J., Glen, F., et al., (2015). Migratory corridors and foraging hotspots: critical habitats identified for Mediterranean green turtles. *Diversity and Distributions*, 21(6), 665-674.
111. Stokes, K. L., Fuller, W. J., Glen, F., Godley, B. J., Hodgson, D. J., Rhodes, K. A., Snape R.T., & Broderick, A. C. (2014). Detecting green shoots of recovery: the importance of long-term individual-based monitoring of marine turtles. *Animal conservation*, 17(6), 593-602.

112. Storelli, M. M., & Marcotrigiano, G. O. (2000). Total organic and inorganic arsenic from marine turtles (*Caretta caretta*) beached along the Italian coast (South Adriatic Sea). *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 65(6), 732-739.
113. Storelli, M. M., & Marcotrigiano, G. O. (2003). Heavy metal residues in tissues of marine turtles. *Marine Pollution Bulletin*, 46(4), 397-400.
114. Storelli, M. M., Barone, G., & Marcotrigiano, G. O. (2007). Polychlorinated biphenyls and other chlorinated organic contaminants in the tissues of Mediterranean loggerhead turtle *Caretta caretta*. *Science of the Total Environment*, 373(2-3), 456-463.
115. Storelli, M. M., Ceci, E., & Marcotrigiano, G. O. (1998). Distribution of heavy metal residues in some tissues of *Caretta caretta* (Linnaeus) specimen beached along the Adriatic Sea (Italy). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 60(4), 546-552.
116. Storelli, M. M., Ceci, E., & Marcotrigiano, G. O. (1998). Distribution of heavy metal residues in some tissues of *Caretta caretta* (Linnaeus) specimen beached along the Adriatic Sea (Italy). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 60(4), 546-552.
117. Štrbenac, A. (ed.) 2015. Strategy on the conservation of sea turtles in the Adriatic Sea for the period 2016–2025. Document produced under the NETCET project, IPA Adriatic Cross-border Cooperation Programme.
118. Synolakis, C. E., Kalligeris, N., Foteinis, S., & Voukouvalas, E. (2008). The plight of the beaches of Crete. In *Solutions to Coastal Disasters 2008* (pp. 495-506).
119. Tikochinski, Y. (2017). The Unique Patterns of Green Turtle Mitochondrial DNA Short Tandem Repeats as a Tool for Geographic Patterns Exposure. *Geoinformatics & Geostatistics: An Overview*, 2017.
120. Tikochinski, Y., Bendelac, R., Barash, A., Daya, A., Levy, Y., & Friedmann, A. (2012). Mitochondrial DNA STR analysis as a tool for studying the green sea turtle (*Chelonia mydas*) populations: the Mediterranean Sea case study. *Marine genomics*, 6, 17-24.
121. Tolve, L., Casale, P., Formia, A., Garofalo, L., Lazar, B., Natali, C., et al., (2018). A comprehensive mitochondrial DNA mixed-stock analysis clarifies the composition of loggerhead turtle aggregates in the Adriatic Sea. *Marine Biology*, 165(4), 68.
122. UNEP-MAP-RAC/SPA. (2015). Adriatic Sea: Important areas for conservation of cetaceans, sea turtles and giant devil rays. By Holcer, D ; Fortuna, C.M and Mackelworth, P.C. Edited by Cebrian, D., & Requena, S., RAC/SPA, Tunis ; 69 pp.
123. Wallace, B. P., DiMatteo, A. D., Hurley, B. J., Finkbeiner, E. M., Bolten, A. B., Chaloupka, M. Y., et al., (2010). Regional management units for marine turtles: a novel framework for prioritizing conservation and research across multiple scales. *PloS one*, 5(12), e15465.
124. Weir, C. R. (2007). Observations of marine turtles in relation to seismic airgun sound off Angola. *Marine Turtle Newsletter*, 116, 17-20.
125. Whittock, P. A., Pendoley, K. L., Larsen, R., & Hamann, M. (2017). Effects of a dredging operation on the movement and dive behaviour of marine turtles during breeding. *Biological conservation*, 206, 190-200.
126. Whittock, P. A., Pendoley, K. L., Larsen, R., & Hamann, M. (2017). Effects of a dredging operation on the movement and dive behaviour of marine turtles during breeding. *Biological conservation*, 206, 190-200.

127. Yilmaz, C., Turkoz, O., & Bardakci, F. (2011). Genetic structure of loggerhead turtle (*Caretta caretta*) populations in Turkey. *Biochemical Systematics and Ecology*, 39(4-6), 266-276.
128. Zbinden, J. A., Aebischer, A., Margaritoulis, D., & Arlettaz, R. (2008). Important areas at sea for adult loggerhead sea turtles in the Mediterranean Sea: satellite tracking corroborates findings from potentially biased sources. *Marine Biology*, 153(5), 899-906.
129. Zbinden, J. A., Aebischer, A., Margaritoulis, D., & Arlettaz, R. (2008). Important areas at sea for adult loggerhead sea turtles in the Mediterranean Sea: satellite tracking corroborates findings from potentially biased sources. *Marine Biology*, 153(5), 899-906.
130. Zbinden, J. A., Bearhop, S., Bradshaw, P., Gill, B., Margaritoulis, D., Newton, J., & Godley, B. J. (2011). Migratory dichotomy and associated phenotypic variation in marine turtles revealed by satellite tracking and stable isotope analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 421, 291-302.

Approfondimenti

131. Alessandro, L., & Antonello, S. (2010). An overview of loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) bycatch and technical mitigation measures in the Mediterranean Sea. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 20(2), 141-161.
132. Andreani, G., Santoro, M., Cottignoli, S., Fabbri, M., Carpenè, E., & Isani, G. (2008). Metal distribution and metallothionein in loggerhead (*Caretta caretta*) and green (*Chelonia mydas*) sea turtles. *Science of the total environment*, 390(1), 287-294.
133. Báez, J. C., Camiñas, J. A., Valeiras, J., Conde, F., & Flores-Moya, A. (2002). Preliminary checklist of the epizootic macroalgae growing on loggerhead turtles in the western Mediterranean Sea. *Marine Turtle Newsletter*, 98, 1-2.
134. Baran, İ., & Kasperek, M. (1989). On the whereabouts of immature sea turtles (*Caretta caretta* and *Chelonia mydas*) in the eastern Mediterranean. *Zoology in the Middle East*, 3(1), 31-36.
135. Basso, R., & Cocco, M. (1986). Il progetto nazionale tartarughe marine. *Thalassia Salentina*, 16, 65-72.
136. Bentivegna, F., Ciampa, M., Mazza, G., Paglialonga, A., & Travaglini, A. (2003). Loggerhead turtle (*Caretta caretta*) in Tyrrhenian Sea: trophic role of the Gulf of Naples. In first mediterranean conference on marine turtles (p. 71).
137. Bentivegna, F., Hochscheid, S., & Minucci, C. (2003). Seasonal variability in voluntary dive duration of the Mediterranean loggerhead turtle, *Caretta caretta*. *Scientia Marina*, 67(3), 371-375.
138. Bentivegna, F., Valentino, F., Falco, P., Zambianchi, E., & Hochscheid, S. (2007). The relationship between loggerhead turtle (*Caretta caretta*) movement patterns and Mediterranean currents. *Marine Biology*, 151(5), 1605-1614.
139. Cambiè, G. (2011). Incidental capture of *Caretta caretta* in trammel nets off the western coast of Sardinia (Italy): statistical models of capture abundance and immediate survival. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 21(1), 28-36.
140. Cambiè, G., Camiñas, J. A., Franquesa, R., & Mingozi, T. (2010). Fishing activity and impacts along the main nesting area of loggerhead sea turtle *Caretta caretta* in Italy: overwhelming discrepancy with the official data. *Scientia Marina*, 74(2), 275-285.
141. Canbolat, A. F. (2004). A review of sea turtle nesting activity along the Mediterranean coast of Turkey. *Biological Conservation*, 116(1), 81-91.
142. Carreras, C., Cardona, L., & Aguilar, A. (2004). Incidental catch of the loggerhead turtle *Caretta caretta* off the Balearic Islands (western Mediterranean). *Biological Conservation*, 117(3), 321-329.
143. Casale, P., Abbate, G., Freggi, D., Conte, N., Oliverio, M., & Argano, R. (2008). Foraging ecology of loggerhead sea turtles *Caretta caretta* in the central Mediterranean Sea: evidence for a relaxed life history model. *Marine Ecology Progress Series*, 372, 265-276.
144. Casale, P., Affronte, M., Scaravelli, D., Lazar, B., Vallini, C., & Luschi, P. (2012). Foraging grounds, movement patterns and habitat connectivity of juvenile loggerhead turtles (*Caretta caretta*) tracked from the Adriatic Sea. *Marine biology*, 159(7), 1527-1535.
145. Casale, P., d'Astore, P. P., & Argano, R. (2009). Age at size and growth rates of early juvenile loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in the Mediterranean based on length frequency analysis. *The Herpetological Journal*, 19(1), 29-33.

146. Casale, P., Freggi, D., Basso, R., & Argano, R. (2004). Epibiotic barnacles and crabs as indicators of *Caretta caretta* distribution and movements in the Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 84(5), 1005-1006.
147. Casale, P., Freggi, D., Basso, R., Vallini, C., & Argano, R. (2007). A model of area fidelity, nomadism, and distribution patterns of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in the Mediterranean Sea. *Marine Biology*, 152(5), 1039-1049.
148. Casale, P., Freggi, D., Gratton, P., Argano, R., & Oliverio, M. (2008). Mitochondrial DNA reveals regional and interregional importance of the central Mediterranean African shelf for loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*). *Scientia Marina*, 72(3), 541-548.
149. Casale, P., Mazaris, A. D., & Freggi, D. (2011). Estimation of age at maturity of loggerhead sea turtles *Caretta caretta* in the Mediterranean using length-frequency data. *Endangered Species Research*, 13(2), 123-129.
150. Casale, P., Nicolosi, P., Freggi, D. A. N. I. E. L. A., Turchetto, M., & Argano, R. (2003). Leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) in Italy and in the Mediterranean basin. *Herpetological Journal*, 13(3), 135-140.
151. Chaieb, O., El Ouaer, A., Maffucci, F., Bradai, M. N., Bentivegna, F., Said, K., & Chatti, N. (2010). Genetic survey of loggerhead turtle *Caretta caretta* nesting population in Tunisia. *Marine Biodiversity Records*, 3, doi:10.1017/S175526721000014 .
152. D'ilio, S., Mattei, D., Blasi, M. F., Alimonti, A., & Bogialli, S. (2011). The occurrence of chemical elements and POPs in loggerhead turtles (*Caretta caretta*): an overview. *Marine pollution bulletin*, 62(8), 1606-1615.
153. Eder, E., Ceballos, A., Martins, S., Pérez-García, H., Marín, I., Marco, A., & Cardona, L. (2012). Foraging dichotomy in loggerhead sea turtles *Caretta caretta* off northwestern Africa. *Marine Ecology Progress Series*, 470, 113-122.
154. Fergusson, I. K., Compagno, L. J., & Marks, M. A. (2000). Predation by white sharks *Carcharodon carcharias* (Chondrichthyes: Lamnidae) upon chelonians, with new records from the Mediterranean Sea and a first record of the ocean sunfish *Mola mola* (Osteichthyes: Molidae) as stomach contents. *Environmental Biology of Fishes*, 58(4), 447-453.
155. Foti, M., Giacobello, C., Bottari, T., Fisichella, V., Rinaldo, D., & Mammina, C. (2009). Antibiotic resistance of gram negatives isolates from loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in the central Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 58(9), 1363-1366.
156. García-Fernández, A. J., Gómez-Ramírez, P., Martínez-López, E., Hernández-García, A., María-Mojica, P., Romero, D., ... & Bellido, J. J. (2009). Heavy metals in tissues from loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the southwestern Mediterranean (Spain). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(2), 557-563
157. Godley, B. J., Thompson, D. R., & Furness, R. W. (1999). Do heavy metal concentrations pose a threat to marine turtles from the Mediterranean Sea?. *Marine Pollution Bulletin*, 38(6), 497-502.
158. Guarino, F. M., Di Maio, A., & Caputo, V. (2004). Age estimation by phalangeal skeletochronology of *Caretta caretta* from the Mediterranean Sea. *Italian Journal of Zoology*, 71(S2), 175-179.
159. Jerez, S., Motas, M., Cánovas, R. Á., Talavera, J., Almela, R. M., & del Río, A. B. (2010). Accumulation and tissue distribution of heavy metals and essential elements in loggerhead

- turtles (*Caretta caretta*) from Spanish Mediterranean coastline of Murcia. *Chemosphere*, 78(3), 256-264.
160. Jones, N., Panagiotidou, K., Spilanis, I., Evangelinos, K. I., & Dimitrakopoulos, P. G. (2011). Visitors' perceptions on the management of an important nesting site for loggerhead sea turtle (*Caretta caretta* L.): The case of Rethymno coastal area in Greece. *Ocean & coastal management*, 54(8), 577-584.
 161. Kaska, Y., & Downie, R. (1999). Embryological development of sea turtles (*Chelonia mydas*, *Caretta caretta*) in the Mediterranean. *Zoology in the Middle East*, 19(1), 55-69.
 162. Lazar B, Lipej L, Holcer D, Onofri V, Žiž V, Tutman P, Marčelja E, Tvrtković N (2008) New data on the occurrence of leatherback turtles, *Dermochelys coriacea*, in the eastern Adriatic Sea. *Vie et Milieu* 58, 237–241
 163. Lazar, B., & Gračan, R. (2011). Ingestion of marine debris by loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, in the Adriatic Sea. *Marine pollution bulletin*, 62(1), 43-47.
 164. Lazar, B., Margaritoulis, D., & Tvrtkovic, N. (1998). Migrations of the loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) into the Adriatic Sea. *Nat. Croat*, 4(1), 59-74.
 165. Maffucci, F., Caurant, F., Bustamante, P., & Bentivegna, F. (2005). Trace element (Cd, Cu, Hg, Se, Zn) accumulation and tissue distribution in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the Western Mediterranean Sea (southern Italy). *Chemosphere*, 58(5), 535-542.
 166. Margaritoulis, D. (2005). Nesting activity and reproductive output of loggerhead sea turtles, *Caretta caretta* over 19 seasons (1984–2002) at Laganas Bay, Zakynthos, Greece: the largest rookery in the Mediterranean. *Chelonian Conservation and Biology*, 4(4), 916-929.
 167. Mazaris, A. D., Kallimanis, A. S., Tzanopoulos, J., Sgardelis, S. P., & Pantis, J. D. (2009). Sea surface temperature variations in core foraging grounds drive nesting trends and phenology of loggerhead turtles in the Mediterranean Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 379(1-2), 23-27.
 168. Moore D (2000) Dalrymple Bay Coal Terminal Expansion Stages 6 & 7. Draft Environmental Impact Statement. Ports Corporation of Queensland, Brisbane
 169. Moritz C (1994) Defining "Evolutionarily Significant Units" for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 9
 170. Papi, F., Luschi, P., Crosio, E., & Hughes, G. R. (1997). Satellite tracking experiments on the navigational ability and migratory behaviour of the loggerhead turtle *Caretta caretta*. *Marine Biology*, 129(2), 215-220.
 171. Peng C, Zhao X, Liu G (2015) Noise in the Sea and Its Impacts on Marine Organisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12:12304-12323
 172. Peng C, Zhao X, Liu G (2015) Noise in the Sea and Its Impacts on Marine Organisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12:12304-12323
 173. Perugini, M., Giammarino, A., Olivieri, V., Guccione, S., Lai, O. R., & Amorena, M. (2006). Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticide levels in tissues of *Caretta caretta* from the Adriatic Sea. *Diseases of aquatic organisms*, 71(2), 155-161.
 174. Piovano, S., Balletto, E., Di Marco, S., Dominici, A., Giacoma, C., & Zannetti, A. (2004). Loggerhead turtle (*Caretta caretta*) by catches on long-lines: The importance of olfactory stimuli. *Italian Journal of Zoology*, 71(S2), 213-216.

175. Piovano, S., Nicolini, G., Di Marco, S., Dominici, A., Lo Valvo, M., & Nannarelli, S. (2006). Analisi delle deposizioni di "*Caretta caretta*" sui litorali italiani. *Societas herpetologica italica*, 1000-1007.
176. Prazzi, E., Piovano, S., Pessani, D., Comparetto, G., & Giacoma, C. (2005). Preferential position of cirripeds epibiont on specimens of *Caretta caretta* captured in Linosa and Lampedusa waters (Pelagie Islands, Sicily, Italy). In 2nd Mediterranean Conference on Marine Turtles (pp. 36-36). Lebib Yalkin Yayimlari ve Basim Isleri Anonim Sirketi.
177. Revelles, M., Cardona, L., Aguilar, A., & Fernández, G. (2007). The diet of pelagic loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) off the Balearic archipelago (western Mediterranean): relevance of long-line baits. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87(3), 805-813.
178. Russo, G., Gianguzza, P., & ZAvA, B. (1999). Osservazioni sulla dieta di *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758) in Mediterraneo. *Biol. Mar. Medit*, 6(1), 602-604.
179. Storelli MM, Ceci E, Marcotrigiano GO (1998) Distribution of heavy metal residues in some tissues of *Caretta caretta* (Linnaeus) specimen beached along the Adriatic Sea (Italy). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 60:546-552
180. Storelli MM, Marcotrigiano GO (2000a) Chlorobiphenyls, HCB, and organochlorine pesticides in some tissues of *Caretta caretta* (Linnaeus) specimens beached along the Adriatic Sea, Italy. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 64:481-488
181. Storelli MM, Marcotrigiano GO (2000b) Total organic and inorganic arsenic from marine turtles (*Caretta caretta*) beached along the Italian coast (South Adriatic Sea). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 65:732-739
182. Storelli MM, Marcotrigiano GO (2003) Heavy metal residues in tissues of marine turtles. *Marine Pollution Bulletin* 46:397-400
183. Storelli MM, Storelli A, D'Addabbo R, Marano C, Bruno R, Marcotrigiano GO (2005) Trace elements in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the eastern Mediterranean Sea: overview and evaluation. *Environmental Pollution* 135:163-170
184. Storelli, M. M., Storelli, A., D'Addabbo, R., Marano, C., Bruno, R., & Marcotrigiano, G. O. (2005). Trace elements in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the eastern Mediterranean Sea: overview and evaluation. *Environmental Pollution*, 135(1), 163-170.
185. Tomas J, Formia A, Fernandez M, Raga JA (2003) Occurrence and genetic analysis of a Kemp's Ridley sea turtle (*Lepidochelys kempii*) in the Mediterranean Sea. *Scientia Marina* 67:367-369
186. Tomas J, Formia A, Fernandez M, Raga JA (2003) Occurrence and genetic analysis of a Kemp's Ridley sea turtle (*Lepidochelys kempii*) in the Mediterranean Sea. *Scientia Marina* 67:367-369
187. Tomas, J., Aznar, F. J., & Raga, J. A. (2001). Feeding ecology of the loggerhead turtle *Caretta caretta* in the western Mediterranean. *Journal of Zoology*, 255(4), 525-532.
188. Tomás, J., Gazo, M., Álvarez, C., Gozalbes, P., Perdiguero, D., Raga, J. A., & Alegre, F. (2008). Is the Spanish coast within the regular nesting range of the Mediterranean loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*)? *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88(7), 1509-1512.

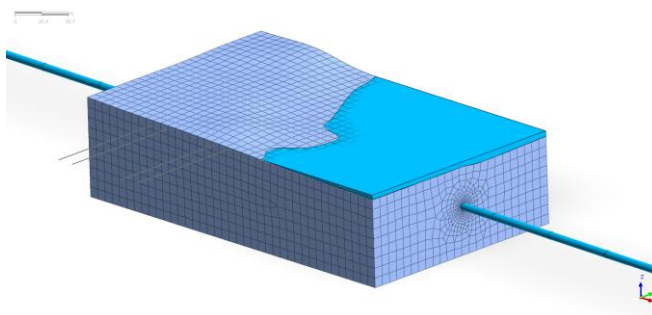
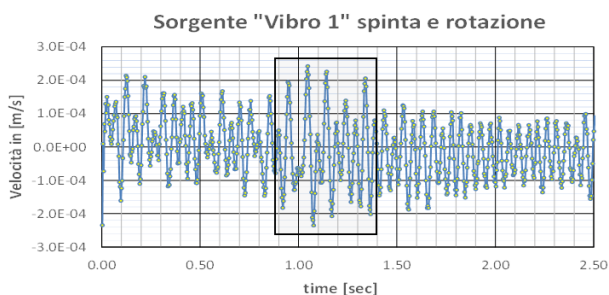
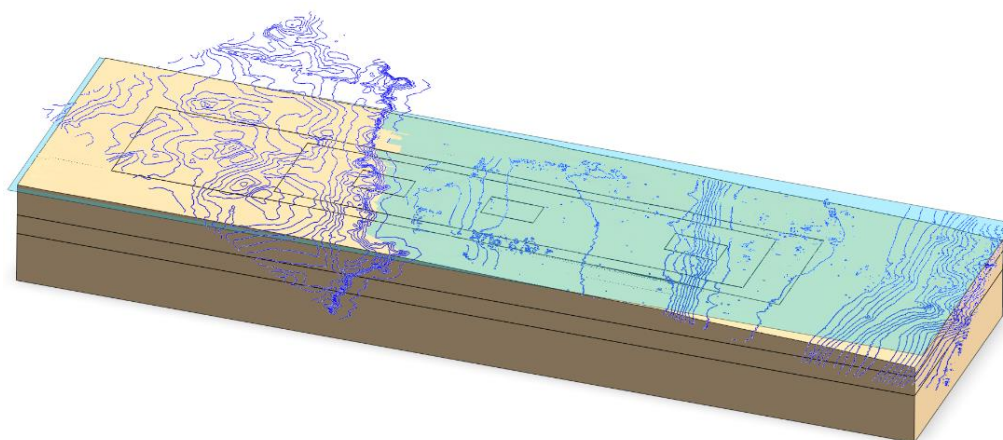
189. Tomas, J., Mons, J. L., Martin, J. J., Bellido, J. J., & Castillo, J. J. (2002). Study of the first reported nest of loggerhead sea turtle, *Caretta caretta*, in the Spanish Mediterranean coast. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 82(6), 1005-1007.
190. Tudela, S., Kai, A. K., Maynou, F., El Andalossi, M., & Guglielmi, P. (2005). Driftnet fishing and biodiversity conservation: the case study of the large-scale Moroccan driftnet fleet operating in the Alboran Sea (SW Mediterranean). *Biological Conservation*, 121(1), 65-78.
191. Türkozan, O., & Yilmaz, C. (2008). Loggerhead turtles, *Caretta caretta*, at Dalyan Beach, Turkey: nesting activity (2004–2005) and 19-year abundance trend (1987–2005). *Chelonian Conservation and Biology*, 7(2), 178-187.
192. Yilmaz, C., Turkozan, O., Bardakci, F., White, M., & Kararaj, E. (2012). Loggerhead turtles (*Caretta caretta*) foraging at Drini Bay in Northern Albania: Genetic characterisation reveals new haplotypes. *Acta Herpetologica*, 7(1), 155-162.

Appendice:

“Analisi delle vibrazioni e del rumore prodotti in fase escavo del Microtunnel del Progetto TAP”



Analisi delle vibrazioni e del rumore prodotti in fase escavo del Microtunnel del Progetto TAP



0	16-04-2018	Prof. Ing. Riccardo Castellanza Prof. Geol. Giovanni Crosta Prof. Giovanni Zambon	<i>Nesbo Castellanza</i> <i>Giovanni Crosta</i> <i>Giovanni Zambon</i>
Rev.	Data	Autori	Firme



Sommario

Introduzione	3
Sommario esecutivo	3
Percorso Metodologico	4
Analisi delle vibrazioni nel terreno	9
Analisi del rumore in acqua	11
Analisi del rumore in aria.....	11
Relazione di Dettaglio.....	12
Fase 1: Ricostruzione del modello geometrico 3D	12
Fase 2: Ricostruzione del modello geologico e geotecnico	17
Fase 3: Definizione delle sorgenti vibrazionali per il sistema microtunneling e stima delle vibrazioni ambientali.....	20
Misura della sorgente.....	20
Leggi di attenuazione.....	24
Stima delle vibrazioni ambientali	25
Fase 4: Analisi numeriche per la definizione degli effetti di vibrazione misurati nei punti sensibili superficiali	28
Definizione del modello numerico, tipologia di analisi e modalità di applicazione delle sorgenti di vibrazione.	28
Modello completo	32
Modello di dettaglio per i punti sensibili.....	35
Risultati in termini di velocità e accelerazione nei punti sensibili.....	38
Fase 5: Analisi del rumore generato dalla macchina di scavo e della sua propagazione in superficie	43
Considerazioni conclusive	46
Analisi delle vibrazioni nel terreno	46
Analisi del rumore in acqua	47
Analisi del rumore in aria.....	47
Riferimenti.....	48
Allegato: Report: Monitoraggio Vibrazionale e Fonometrico prodotta per i progetti di Villesse e Vipacco (2011).	48



Introduzione

Il presente studio ha lo scopo di valutare in forma previsionale le vibrazioni ed il rumore indotti dallo scavo del microtunnel previsto nell'ambito della costruzione dell'approdo italiano del gasdotto TAP.

Particolare attenzione è stata posta nel definire le vibrazioni che giungono alla superficie del terreno in punti sensibili posti sul bagnasciuga e sul fondale in asse col tracciato al fine di valutare eventuali interferenze massime rispetto alle popolazioni e potenziale nidificazione delle tartarughe marine. Le vibrazioni sono, infatti, ciò che determina l'eventuale disagio per target sensibili di varia natura.

Per tale scopo è stato adottato un approccio metodologico che, partendo dalla costruzione del modello geometrico in tre dimensioni (3D), dalla definizione delle proprietà geotecniche del terreno e delle sorgenti di vibrazione, consentisse, mediante una analisi numerica agli elementi finiti, di ottenere il velocigramma di interesse in superficie, da confrontare con la normativa vigente. Si è seguita pertanto una modellazione fisicamente basata con modelli avanzati, calibrati e validati su misure in situ.

Il rumore generato dal sistema durante le attività di scavo può essere ricondotto essenzialmente a due sorgenti: i macchinari posti in testa alla fresa, e presenti all'interno dello scudo, e la fresa a contatto con il terreno di scavo. Poiché lo scudo costituisce una camera d'aria che di fatto risulta isolata dall'aria di superficie dalla copertura del terreno e che tra la fresa e l'aria di superficie esiste uno strato di terreno mediamente di oltre 10 m, in particolare 16 m in corrispondenza della linea di battigia, si è ritenuto ampiamente soddisfacente adottare un approccio semplificato.

Per chiarezza espositiva, si racchiude nel sommario esecutivo una sintesi del lavoro svolto e dei risultati ottenuti.

Sommario esecutivo

La presente relazione intende rispondere ai seguenti tre quesiti:

1. Che vibrazioni di tipo meccanico possono arrivare nei punti sensibili (bagnasciuga e fondale marino) durante le fasi di scavo del microtunnel? Come si collocano tali vibrazioni rispetto alle soglie previste dalla normativa vigente e possono essere fattore di disturbo per target sensibili?
2. Le vibrazioni che arrivano al fondale marino potrebbero eventualmente trasformarsi in rumore subacqueo (underwater sound)?
3. Il rumore aereo che si genera nella camera di scavo e il rumore impattivo che si genera dal contatto della fresa con il terreno, può arrivare in superficie creando disagio?

Per rispondere ai tre quesiti si è adottato il percorso metodologico nel seguito sintetizzato indicando per ciascuna fase gli aspetti chiave.



Percorso Metodologico

Fase 1: Ricostruzione del modello geometrico 3D

In tale fase si è ricostruita la geometria di dettaglio del dominio di analisi che contiene l'intero sviluppo del microtunnel, considerando la topografia e batimetria reali. Quanto ottenuto è mostrato in Figura 1, Figura 2 e Figura 3.

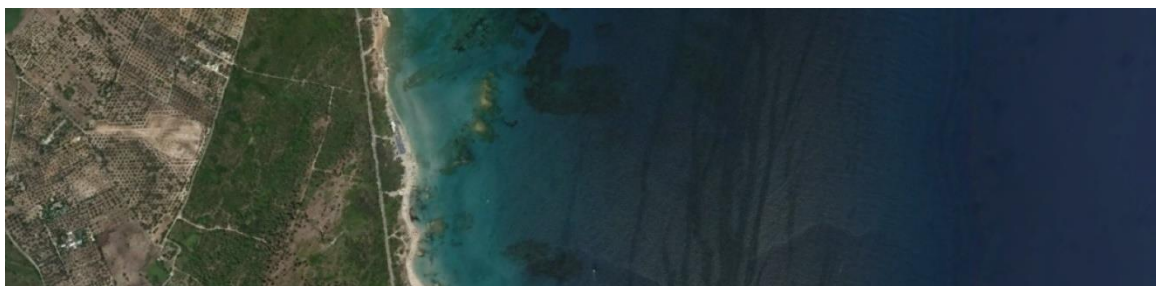


Figura 1: Immagine satellitare dell'area di approdo

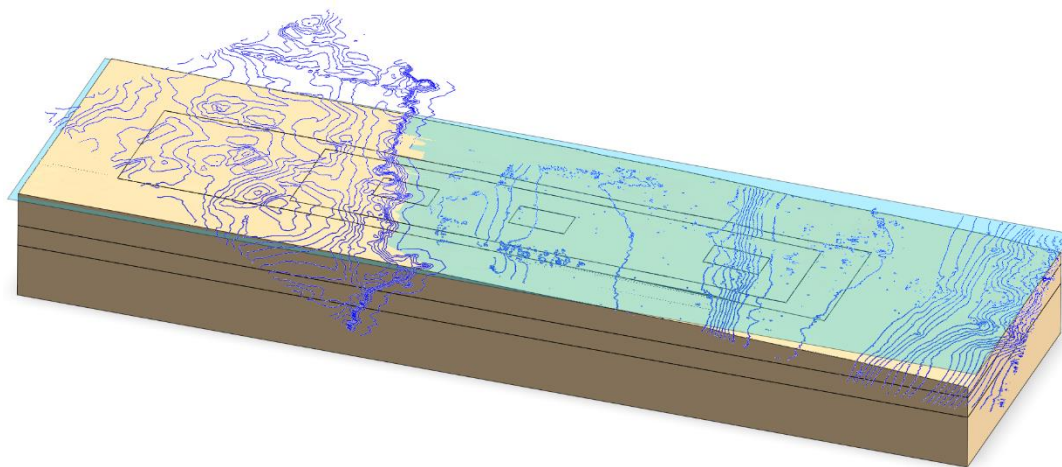


Figura 2: Modello geometrico 3D - curve di livello e dominio di analisi

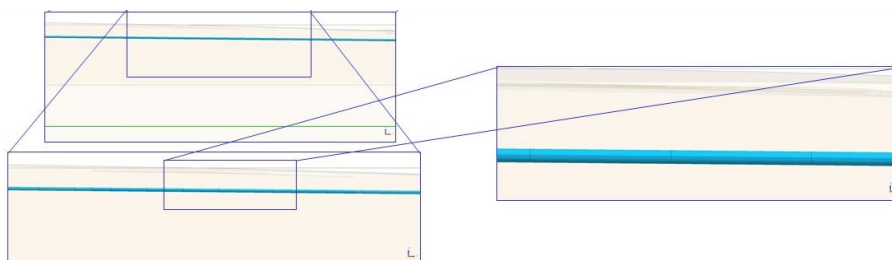


Figura 3: Dettaglio di uno dei punti di analisi



Al fine di garantire la copertura del dominio di analisi, sono stati scelti quattro punti (aree di interesse) sensibili: due sul fondale, P1 e P2, per valutare l'eventuale disturbo in acqua nel tratto interessato dall'avvicinamento delle tartarughe al litorale, altri due sul bagnasciuga, P3 e P4, per valutare le vibrazioni meccaniche nel luogo di potenziale deposizione delle uova di tartaruga. Le aree di interesse sono mostrate in Figura 4.

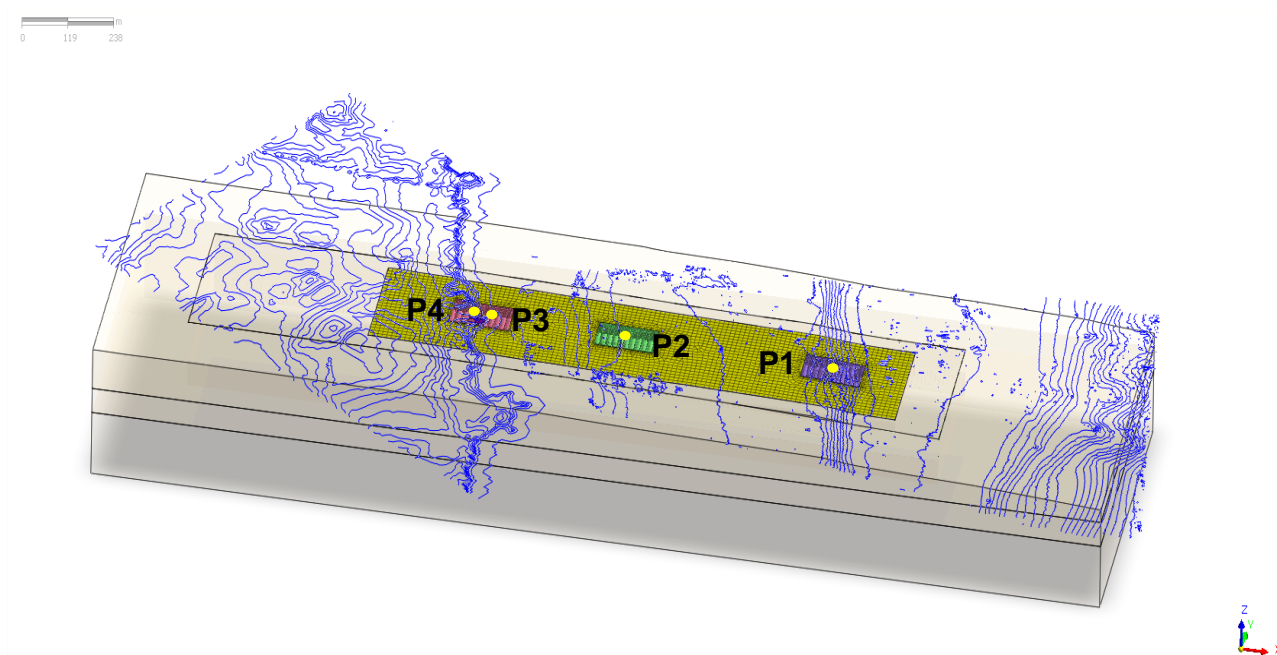


Figura 4: Punti (aree di interesse) potenzialmente sensibili

Fase 2: Ricostruzione del modello geologico e geotecnico

Sulla base di tutte le caratterizzazioni geologiche e geotecniche disponibili sono state definite le proprietà geomeccaniche con particolare attenzione alle componenti utili all'esecuzione delle analisi dinamiche in campo vibrazionale. Si precisa che, come mostrato nelle due sezioni geologiche presentate in fase di progettazione esecutiva, l'intero tunnel attraversa strati di terreni variabili da sabbie, sabbie con ghiaia e sabbie limose. La presenza di localizzate intercalazioni a debole cementazione è ininfluente ai fini della modellazione e pertanto l'intero scavo del microtunnel si svolge in sabbia (Figura 5).

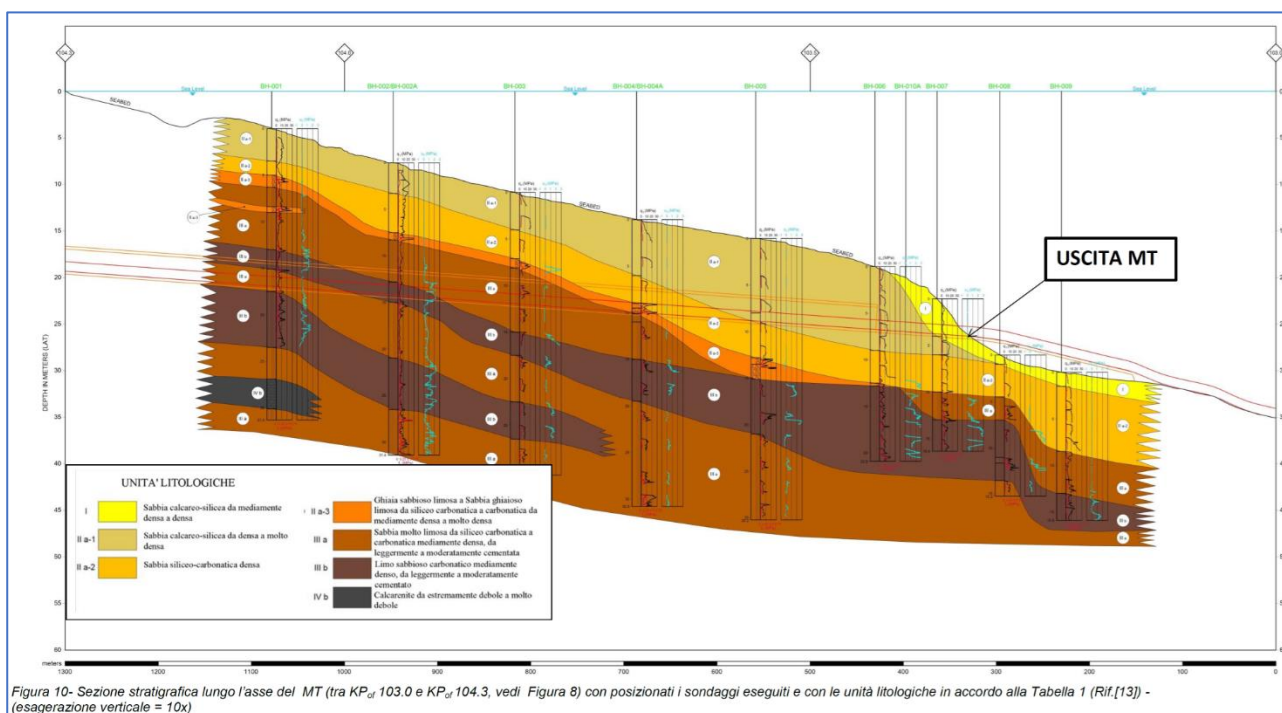


Figura 10- Sezione stratigrafica lungo l'asse del MT (tra KP_d 103.0 e KP_d 104.3, vedi Figura 8) con posizionati i sondaggi eseguiti e con le unità litologiche in accordo alla Tabella 1 (Rif.[13]) - (esagerazione verticale = 10x)

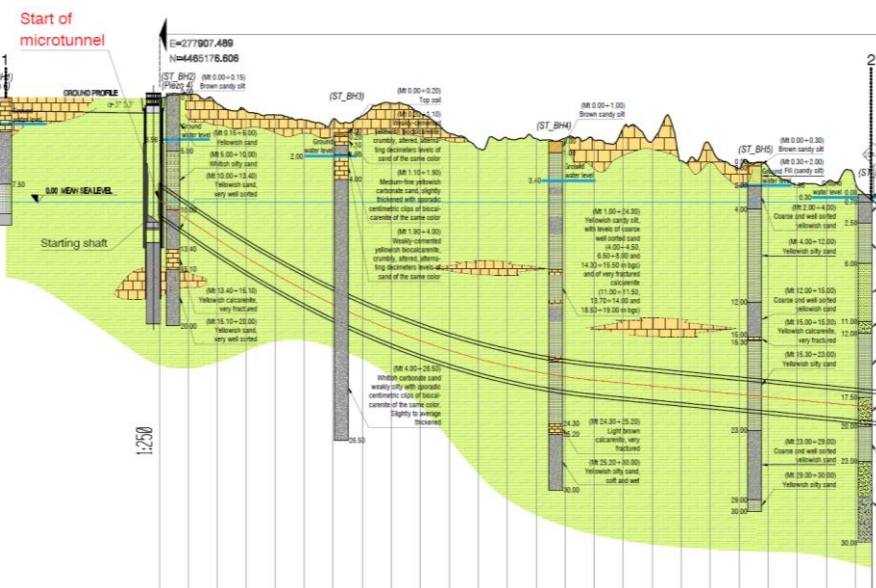


Figura 5: Sezione geologica onshore e nearshore del microtunnel come da relazione di progetto.

Fase 3: Definizione delle sorgenti vibrazionali per il sistema microtunneling

Utilizzando studi specifici realizzati in casi simili presenti sia in letteratura che in precedenti attività svolte dal committente, ed integrando tali informazioni con misure dirette delle sorgenti di vibrazioni effettuate in contesti e con macchinari simili, sono state definite le sorgenti delle vibrazioni generate dalla macchina che scaverà il microtunnel da utilizzare come input nelle modellazioni. La velocità di picco massima che caratterizza la macchina di scavo è di 0.24 mm/s (Figura 6). Inoltre, è stato possibile adottare delle leggi di attenuazione empiriche ricavate in condizioni più gravose (minor ricoprimento) mediante monitoraggio continuo con velocimetri in due scavi di microtunnel realizzati per attraversamenti fluviali in terreni saturi

analoghi al caso in esame (Figura 7). Si ritiene che tali acquisizioni (sorgenti ed attenuazioni), effettuate in casi reali simili alle condizioni di scavo previste, siano utilissime per calibrare e validare il modello complesso FEM 3D affinché possa essere impiegato in previsione fornendo risultati attendibili.

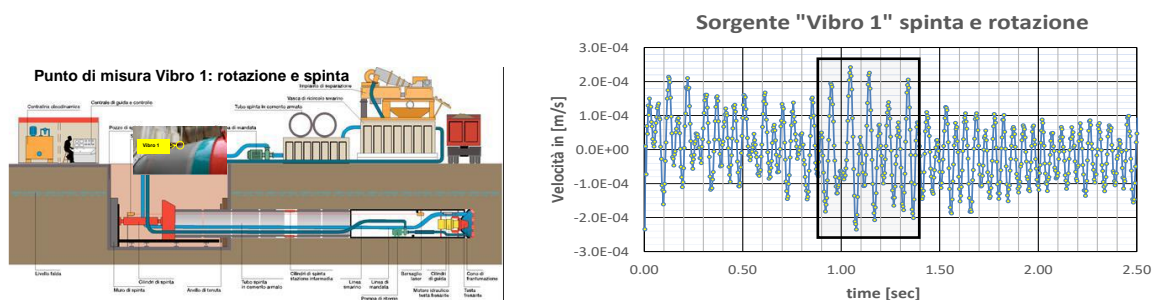


Figura 6: Sorgente di vibrazione del microtunnel (componente massima) e registrazione velocimetrica disponibile

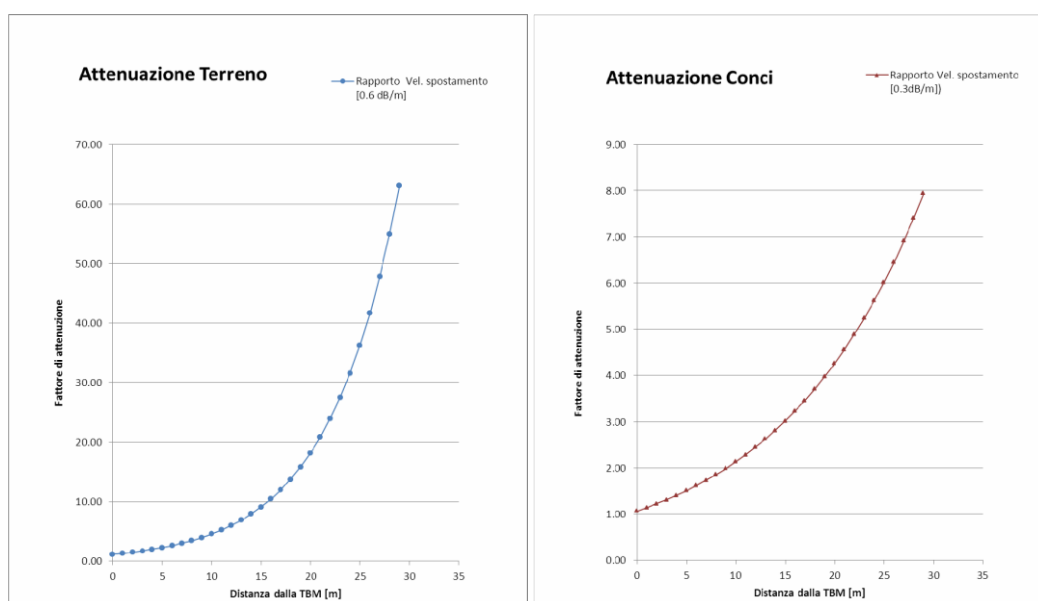


Figura 7: Leggi di attenuazione adottate nel modello e derivate direttamente da dettagliato monitoraggio in fase di scavo di microtunneling riportato nell'allegato 2 (Fig.2.21 e Fig. 2.22)



Fase 4: Analisi numeriche per la definizione degli effetti di vibrazione misurati nei punti sensibili superficiali

Dopo una fase di calibrazione del modello numerico sulla base delle informazioni ottenute disponibili e degli input definiti, sono state svolte delle analisi numeriche previsionali per la definizione dei livelli di vibrazione in superficie (sia nella zona di spiaggia che sul fondale marino) per stimarne gli effetti nei confronti dei ricettori potenziali (tartarughe marine). Particolare attenzione è stata dedicata alla fase di validazione dei risultati ottenuti utilizzando le misure effettuate nei campi prova in condizioni simili a quelle del progetto in esame.

Il massimo valore stimato, come velocità di picco, nei punti sensibili P3 e P4 in superficie è di 0.039 mm/s in P3 (Figura 8). Utilizzando un approccio conservativo, ossia per adottare le condizioni peggiori, oltre al fronte di scavo è stato considerato l'intero tunnel come sorgente di vibrazioni trascurando inoltre l'effetto di smorzamento sismico del lubrificante (fluido di perforazione con acqua e bentonite) utilizzato tra conci e terreno. La massima accelerazione calcolata è pari a 1.88 mm/s^2 . In Tabella 1 sono riportati i valori delle velocità e delle accelerazioni determinate dal modello nei quattro punti sensibili.

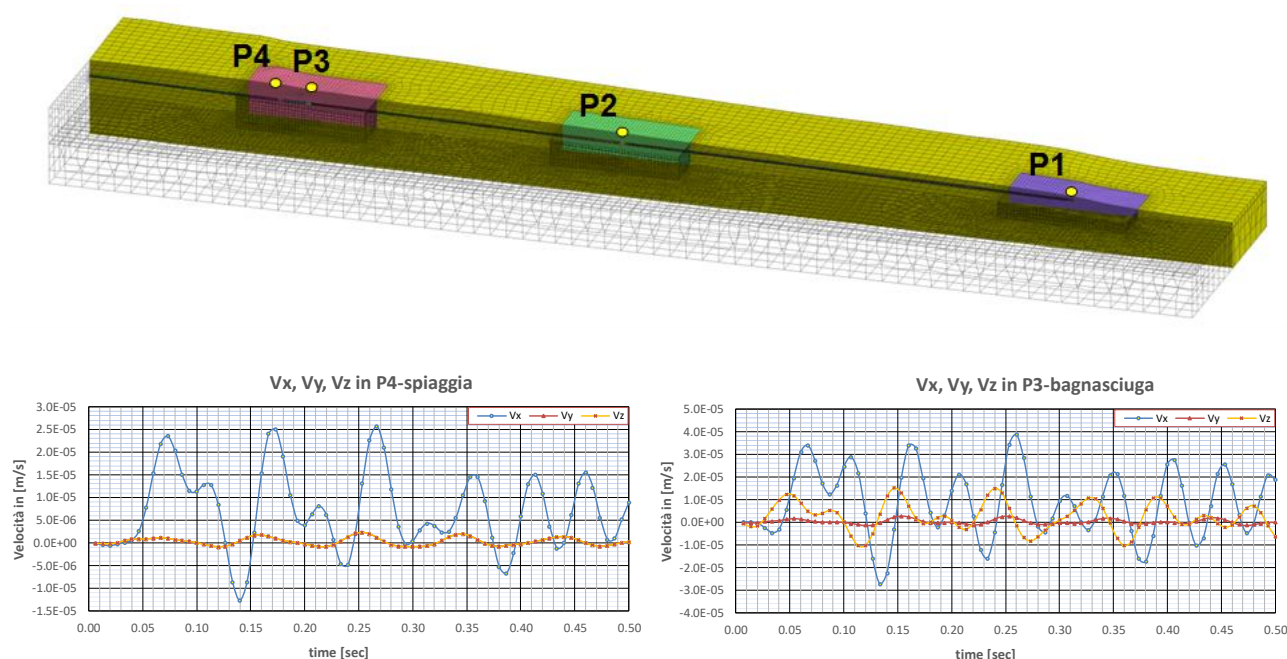


Figura 8: Diagrammi delle componenti della velocità rispetto al tempo previste dal modello numerico durante lo scavo nei punti P3 e P4 (vedi Fig. 4 per il posizionamento)

Vibrazioni "meccaniche" - Punti P4 (Spiaggia) e P3 (Bagnasciuga)			
VELOCITA' PREVISTA DALLA MODELLAZIONE	UdM	P4 - Spiaggia	P3 - Bagnasciuga
SORGENTE: Picco Velocità Massima Sorgente PVMS	[mm/s]	0.2400	0.2400
SUPERFICIE: Picco Velocità Massima Calcolata in superficie PVMCS [m	[mm/s]	0.0257	0.0389
Attenuazione (Rapporto tra PVMCS e PVMS)	[-]	9.3385	6.1697
ACCELERAZIONE CALCOLATA			
SORGENTE: RMS Accelerazione Massima A_max_RMS_Sorgente	[mm/s ²]	10.8847	10.8847
SUPERFICIE: RMS Accelerazione Massima A_max_RMS_Superficie	[mm/s ²]	1.8800	1.6600
Attenuazione (A_max_RMS_Superficie/A_max_RMS_Sorgente)	[-]	5.7897	6.5571



Vibrazioni "meccaniche" in arrivo al FONDALE - Punti P2 e P1			
VELOCITA' PREVISTA DALLA MODELLAZIONE	UdM	P2 - Fondale (382m da riva)	P2 - Fondale (928m da riva)
Picco Velocità Massima Sorgente PVMS	[mm/s]	0.2400	0.2400
Picco Velocità Massima Calcolata in superficie PVMCS [mm/s]	[mm/s]	0.0645	0.1200
Attenuazione (Rapporto tra PVMCS e PVMS)	[-]	3.7209	2.0000
ACCELERAZIONE CALCOLATA			
SORGENTE: RMS Accelerazione Massima A_max_RMS_Sorgente	[mm/s ²]	10.8847	10.8847
SUPERFICIE: RMS Accelerazione Massima A_max_RMS_Superficie	[mm/s²]	2.8500	8.7800
Attenuazione (A_max_RMS_Superficie/A_max_RMS_Sorgente)	[-]	3.8192	1.2397
Stima della PGA	[-]	0.0003 g	0.0009 g

Tabella 1: Velocità ed accelerazioni previste dalla modellazione nei punti P3, P4 e P2, P1

Fase 5: Analisi del rumore generato dalla macchina di scavo e della sua propagazione in superficie

Il rumore riscontrabile a livello della superficie e riconducibile alle fasi di scavo del microtunnel è generato da due sorgenti specifiche.

La prima raggruppa i macchinari che si trovano all'interno dello scudo (compresa la fresa) e si riferisce a rumore di tipo "aereo".

La seconda riguarda l'attività di fresatura vera e propria e può essere considerata come sorgente di rumore di tipo "impattivo".

Partendo dai livelli caratteristici generati dai macchinari utilizzati all'interno dello scudo e dalla rumorosità specifica derivante dall'attività di fresatura, per stimare i livelli di rumore presenti in superficie durante le attività di scavo, sono stati utilizzati dei modelli di simulazione semplificati.

Analisi delle vibrazioni nel terreno

Al fine di trarre possibili conclusioni in merito alle vibrazioni meccaniche che potrebbero arrivare ai punti P4 (Spiaggia) e P3 (Bagnasciuga) in asse con il tunnel, e quindi da considerarsi come punti potenzialmente più critici, sono stati effettuati i seguenti confronti:

Confronto 1: Velocità di Picco calcolata rispetto normativa UNI 9916

La normativa UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici" fornisce i valori di riferimento delle velocità tollerabili da edifici di diversa tipologia. Nel caso più restrittivo, cioè le costruzioni degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici), il valore di riferimento è 2.5 mm/s. Pur non essendo direttamente comparabile un edificio storico con un nido di uova di tartaruga, il confronto tra il valore della normativa ed il valore massimo associato allo scavo del tunnel (0.039 mm/s in P3), si ottiene un fattore 64, che fornisce l'idea dell'ordine di grandezza della velocità prodotta dalla macchina di scavo. Tale valore massimo risulta essere decisamente inferiore ai valori indicati come appena percettibili da esseri umani (Siskind e al., 1980).



Confronto 1: Confronto Picco di Velocità previsto in superficie per scavo con UNI 9916			
Punto Sensibile	SUPERFICIE: Picco Velocità Massima Calcolata in Superficie PVMCS [mm/s]	Picco Velocità Normativa UNI 9916 - Caso più restrittivo [mm/s]	Rapporto
P4	0.0257	2.5000	97 volte in meno
P3	0.0389	2.5000	64 volte in meno

Tabella 2: Confronto 1 delle velocità del modello con i valori della normativa UNI 9916

Confronto 2: Velocità di Picco calcolata rispetto alle vibrazioni registrate per moto ondoso medio

La velocità di picco delle vibrazioni prodotte dal moto ondoso, registrata in condizioni di mare medie, è 0.0536 mm/s. Questo valore rappresenta la condizione di vibrazione a cui sono generalmente esposte le uova di tartaruga deposte nel bagnasciuga ed è quindi un valore molto significativo. Esso risulta 1.38 volte superiore a quello determinato in fase di scavo. Le vibrazioni prodotte da mare molto mosso risulterebbero ancora maggiori.

Confronto 2: Confronto Picco di Velocità previsto con Picco Velocità di Moto Ondoso Medio/Basso (h< 0.3m)			
Punto Sensibile	SUPERFICIE: Picco Velocità Massima Calcolata in Superficie PVMCS [mm/s]	Picco Velocità di Moto Ondoso Medio/Basso (0.3m circa) [mm/s]	Rapporto
P4 (spiaggia)	0.0257	0.0536	2 volte in meno
P3 (bagnasciuga)	0.0389	0.0536	1.4 volte in meno

Tabella 3: Confronto 2 delle velocità del modello con i valori del moto ondoso

Confronto 3: Accelerazione RMS come componente massima rispetto alla normativa UNI 9614

La normativa UNI 9614/1990 “Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo” fornisce i valori massimi delle accelerazioni che garantiscono il comfort, l'efficienza lavorativa, la salute e sicurezza dei soggetti esposti. Il valore più restrittivo, pari a 3.6 mm/s², risulta 1.9 volte maggiore rispetto al valore massimo calcolato in P4, pari a 1.88 mm/s².

Non si sono utilizzati i valori indicati nella normativa aggiornata UNI 9614/2017 perché in quest'ultima versione non si forniscono i valori delle accelerazioni massime tollerabili, ma tali valori sono filtrati con un filtro passa banda che ha lo scopo di isolare esclusivamente la banda passante significativa per la risposta del corpo umano al disturbo. Non essendo ovviamente disponibili valori filtrati per la risposta delle tartarughe, si è preferito utilizzare per il confronto direttamente i valori delle accelerazioni della versione precedente.

Confronto 3: Confronto Accelerazione Max (RMS) previsto con Accelerazione Max (RMS) previsto in UNI 9614/90			
Punto Sensibile	SUPERFICIE: Picco Velocità Massima Calcolata in Superficie PVMCS [mm/s]	Accelerazione Max Consentita Caso più conservativo UNI 9614/90	Rapporto
P4 (spiaggia)	1.8800	3.6000	1.9 volte in meno
P3 (bagnasciuga)	1.6600	3.6000	2.1 volte in meno

Tabella 4: Confronto delle accelerazioni del modello con i valori della normativa UNI 9614 (N: non si è utilizzata la norma 9614/2017 poiché non è definibile il filtro passa banda per le tartarughe)



Analisi del rumore in acqua

Per quanto riguarda la possibile generazione di rumore in acqua provocato dalle vibrazioni del fondale, si può escludere anche in questo caso che esso sia fonte di disturbo. Anzitutto è da considerarsi che il fondale per effetto della vibrazione dello scavo sottostante può vibrare con picchi di accelerazione massima (RMS) dell'ordine di 3 mm/s^2 nel punto di riferimento P2 con frequenza dominante di 20 Hz (non si considera il punto P1 perché in tale punto – uscita del tunnel – il disturbo è confinato in un brevissimo intervallo temporale a cui consegnerà l'arresto delle attività di scavo).

Trasformando il segnale in P2 in PGA (Peak Ground Acceleration), dividendolo per la costante g (9.81 m/s^2), otteniamo un valore di 0.0003 g . Tale valore è decisamente basso e paragonabile a quello associato al rumore di fondo o a microtremori del suolo.

Pertanto, non si ritengono associabili disturbi sonori in acqua indotti dallo scavo del microtunnel.

Analisi del rumore in aria

Considerando lo strato di terreno, costituito da sabbia e ghiaia, che le onde sonore devono attraversare, è stato stimato che i livelli di rumore in superficie risultano trascurabili, impercettibili dall'uomo e molto inferiori ai livelli di rumore di fondo normalmente presenti in ambienti naturali silenziosi quali il litorale marino.

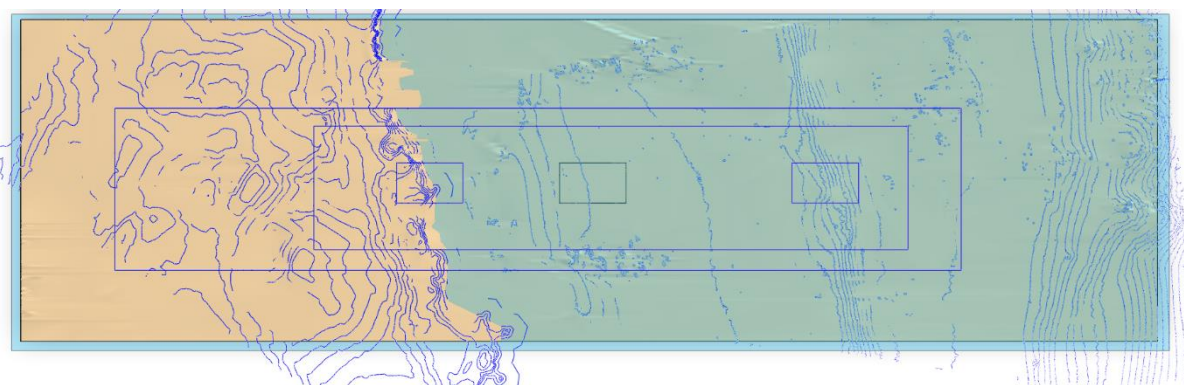
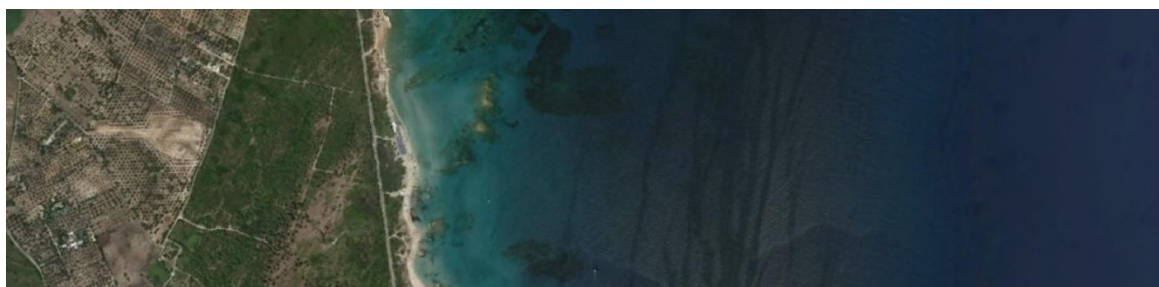


Relazione di Dettaglio

Nelle pagine che seguono vengono riportati nel dettaglio i passi che hanno permesso di ottenere i risultati che hanno portato alle conclusioni sintetizzate nel sommario esecutivo. Il lavoro è stato svolto con il contributo del Dott. Mariano Zen e l'Ing. Paolo Greco.

Fase 1: Ricostruzione del modello geometrico 3D

In tale fase si è ricostruita la geometria di dettaglio del dominio di analisi che contiene l'intero sviluppo del microtunnel, considerando la topografia e la batimetria reali rilevate al sito di interesse. Quanto ottenuto è mostrato in Figura 9, Figura 10 e Figura 11.



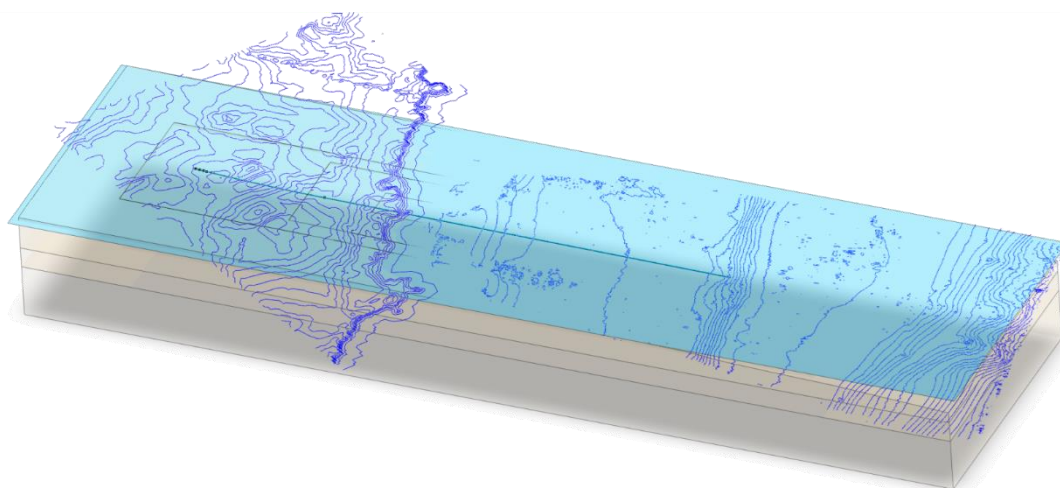
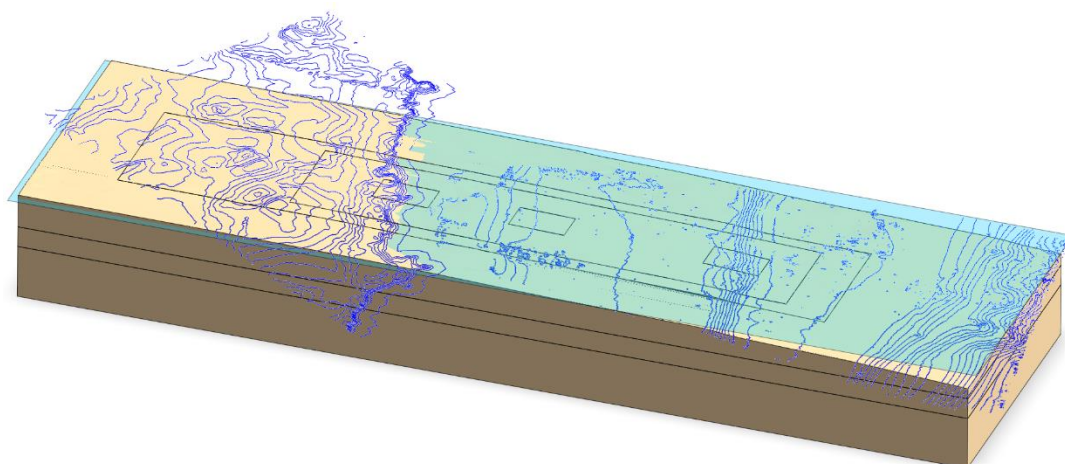


Figura 9: Modello geometrico 3D: curve di livello e dominio di analisi

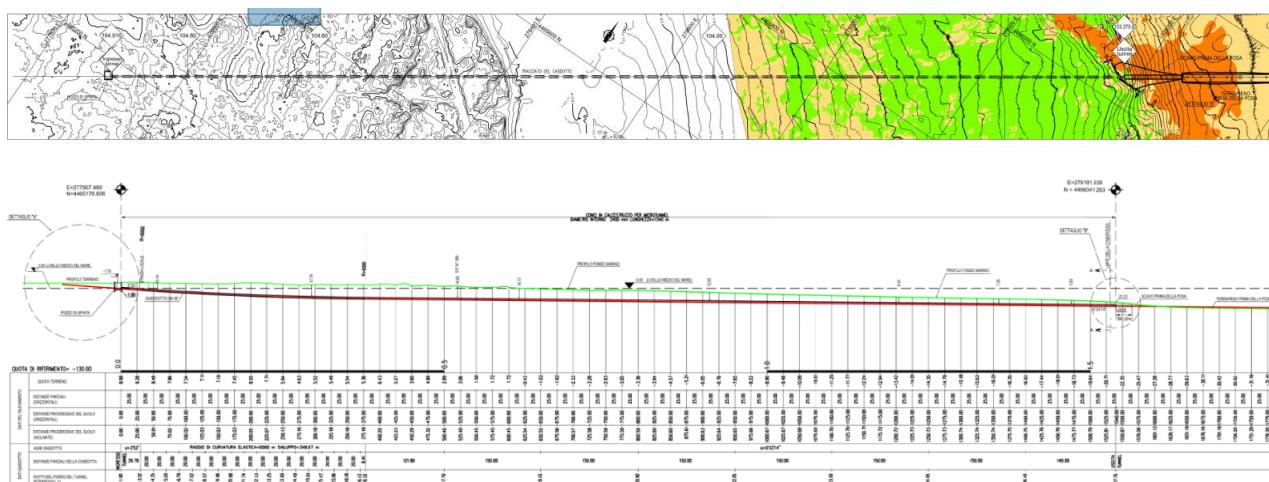


Figura 10: Modello geometrico 3D: tracciato planoaltimetrico

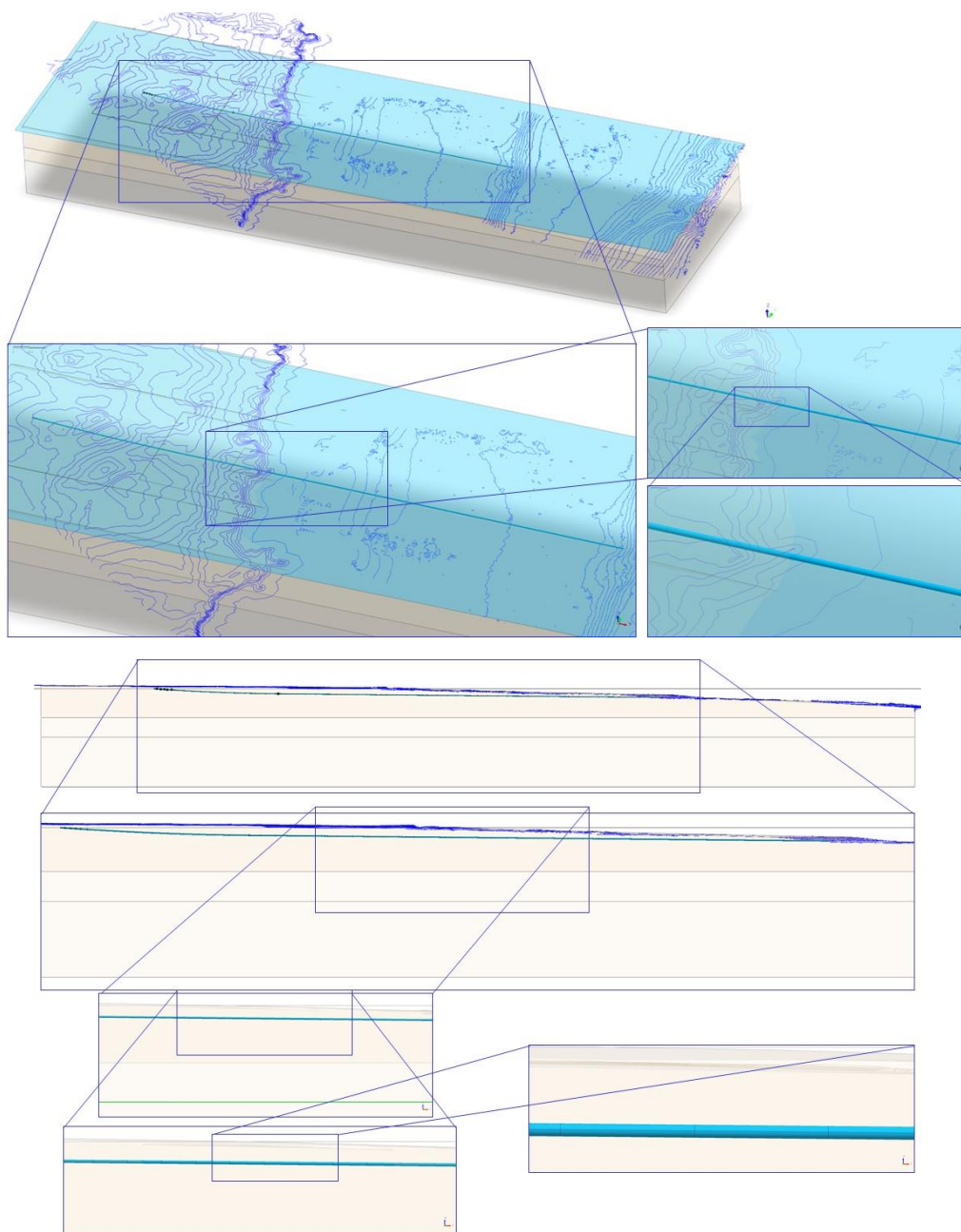


Figura 11: Modello geometrico 3D: particolari dell'inserimento del tunnel nel modello

Al fine di garantire la copertura del dominio di analisi, sono stati scelti quattro punti sensibili: due sul bagnasciuga, P3 e P4, per valutare le vibrazioni meccaniche nel luogo prossimo di potenziale deposizione delle uova di tartaruga e due sul fondale, P1 e P2, per valutare l'eventuale disturbo in acqua correlabile al corridoio di avvicinamento delle tartarughe al litorale. I punti sono mostrati in Figura 12, Figura 13, Figura 14 e Figura 15. In particolare P3 è posizionato sul bagnasciuga; P4 è a 34 m di distanza da P3 sulla spiaggia verso l'interno; P2 dista 382 m da P3 verso il mare; P1 dista 928 m da P3, verso il mare.



0 119 238

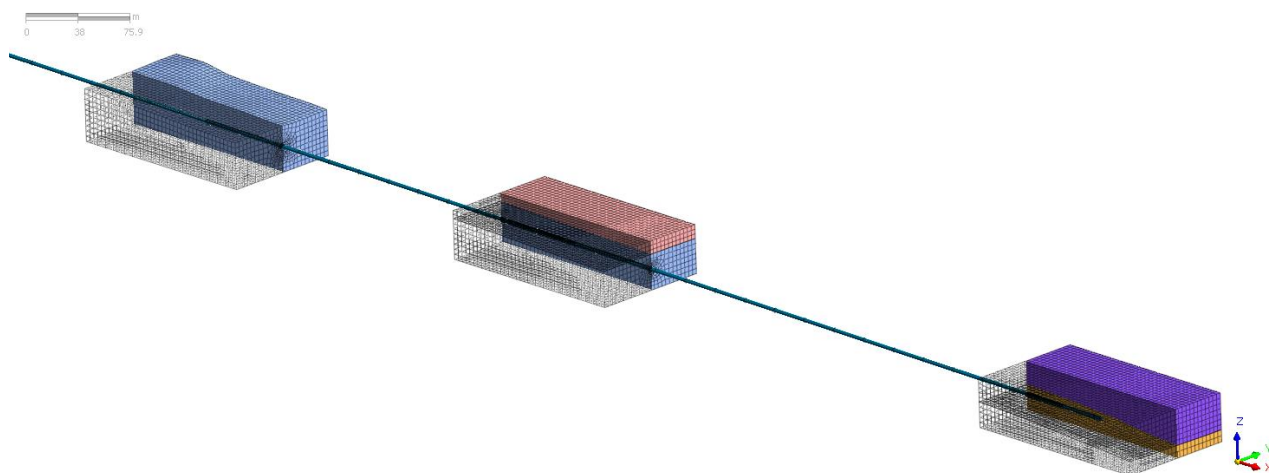
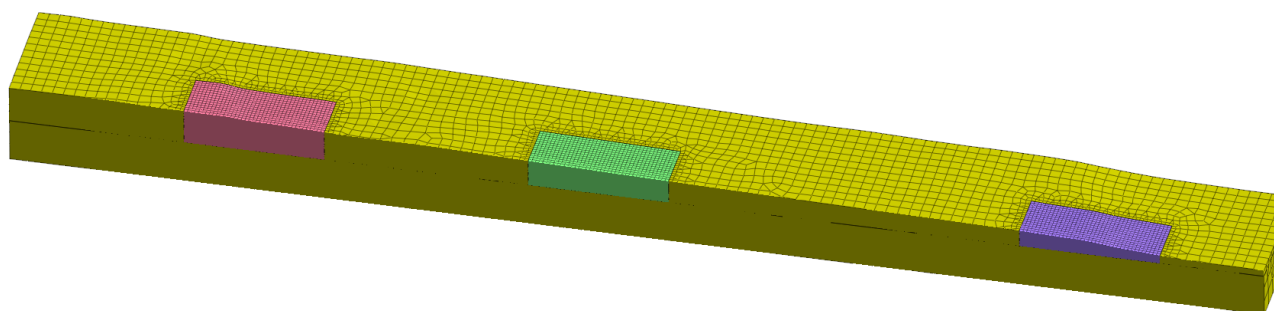
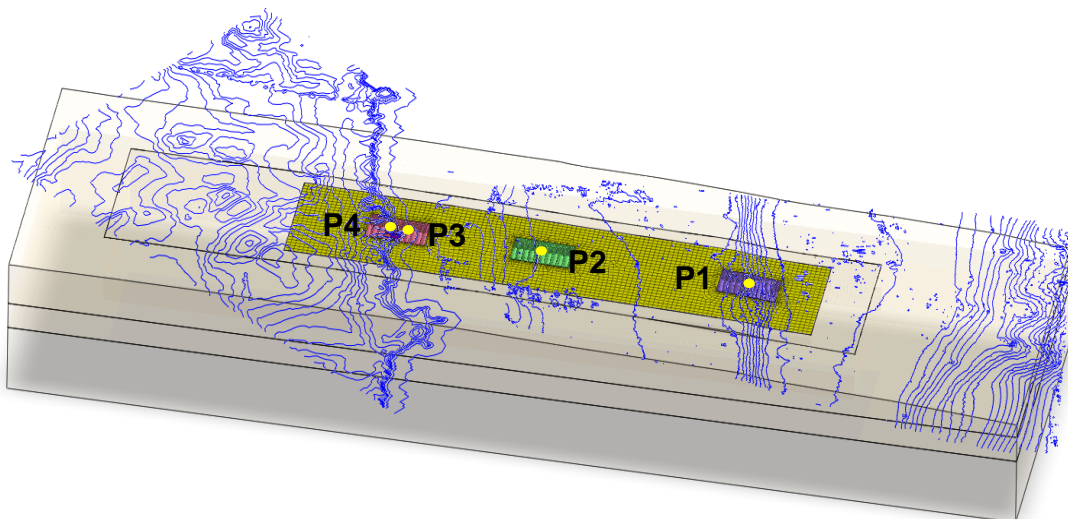


Figura 12: Punti sensibili: posizionamento, rispetto alla topografia e batimetria, collocazione entro la mesh di calcolo e discretizzazione delle aree di interesse

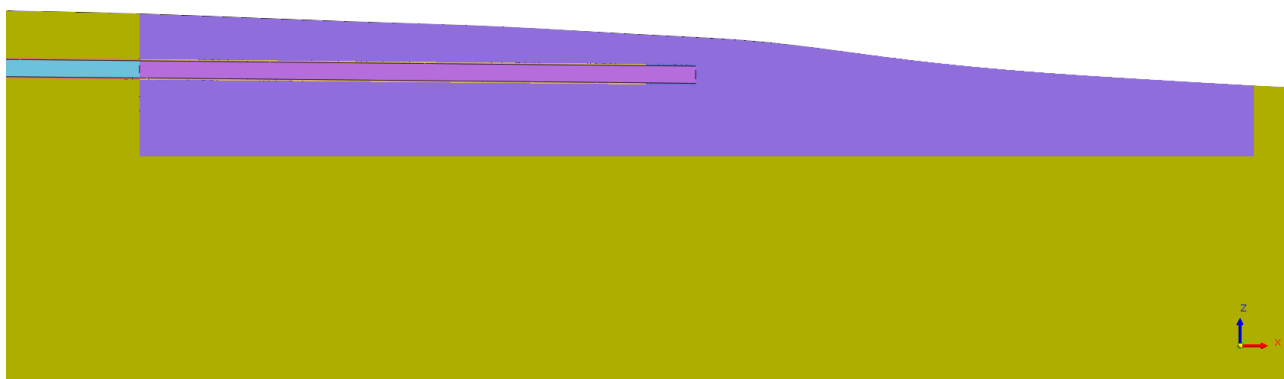


Figura 13: Punto sensibile P1

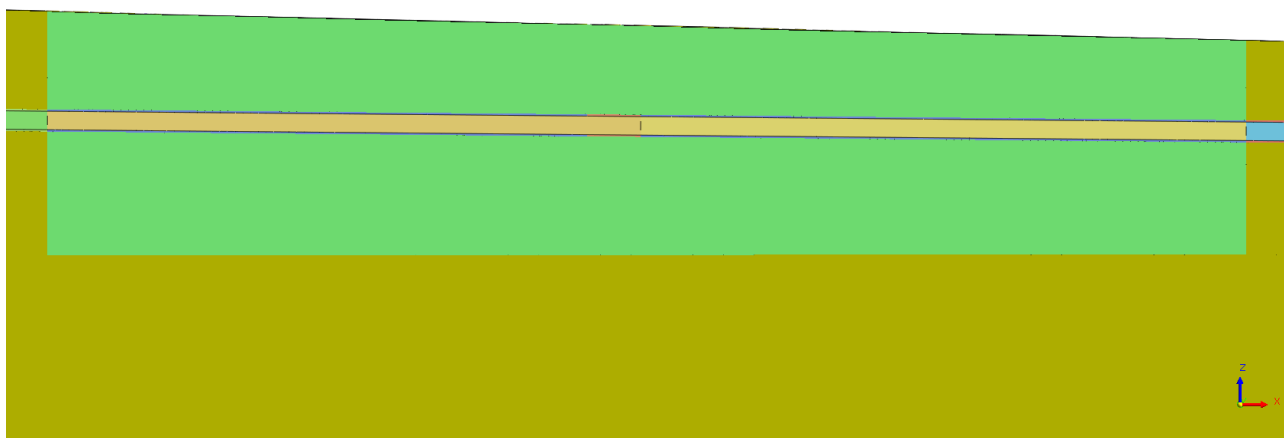


Figura 14: Punto sensibile P2

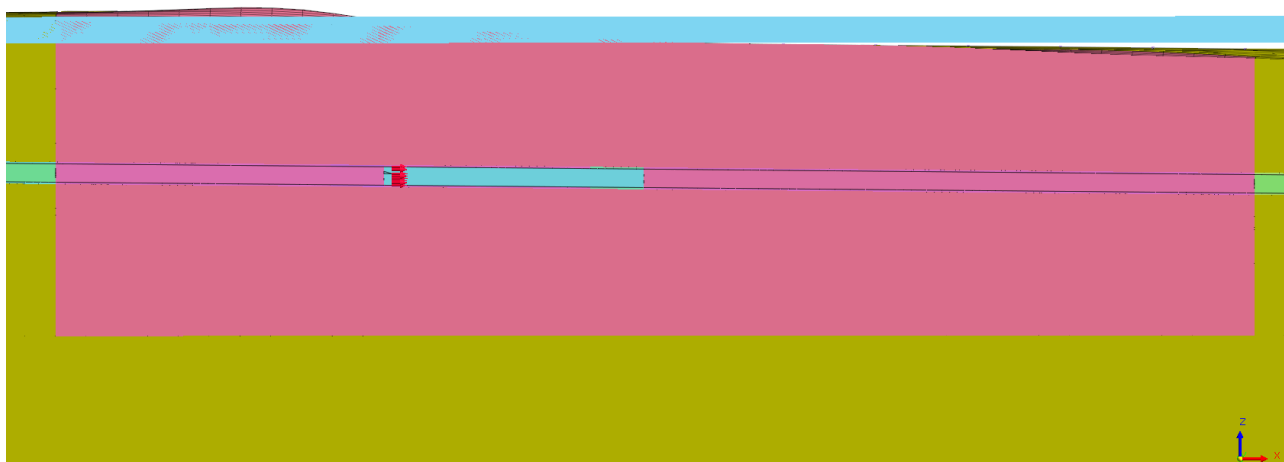
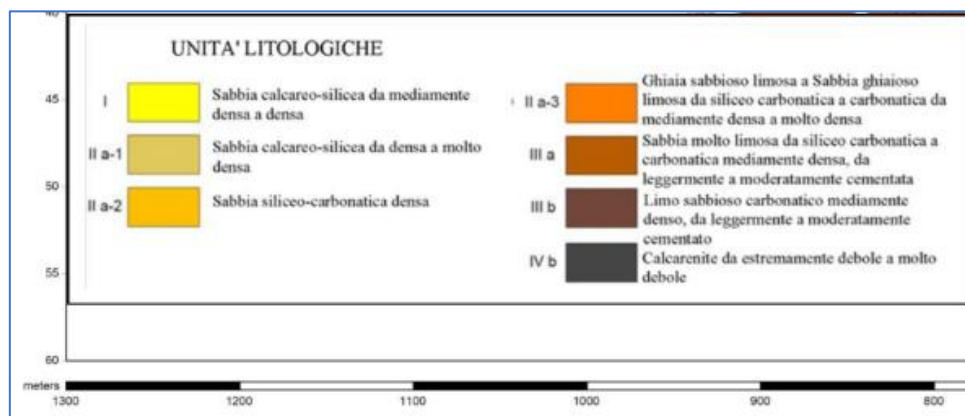
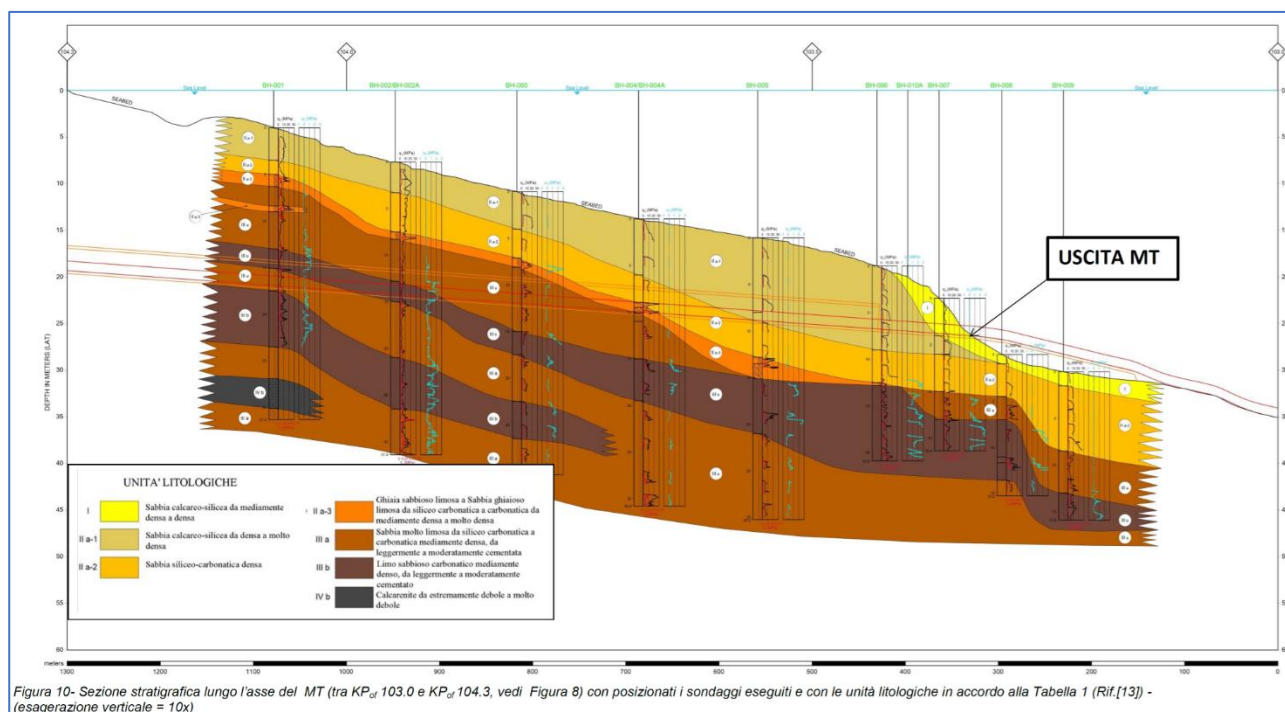


Figura 15: Punti sensibili P3, P4



Fase 2: Ricostruzione del modello geologico e geotecnico

Sulla base di tutte le caratterizzazioni geologiche e geotecniche disponibili sono state definite le proprietà geomeccaniche con particolare attenzione alle componenti utili alle analisi dinamiche in campo vibrazionale. Si precisa che, come mostrato nelle due sezioni geologiche presentate in fase di progettazione esecutiva, l'intero tunnel attraversa strati di terreni variabili da sabbie, sabbie con ghiaia e sabbie limose. La presenza di localizzate intercalazioni rocciose a debole cementazione è ininfluenza ai fini della modellazione e pertanto l'intero scavo del microtunnel si svolge in sabbia (Figura 17).





18



Down-Hole test

Commitente	URS Italy S.p.A.	Ubicazione	Melendugno (LE)
Down-hole test	DH-2	Data	23/06/2015
Sigla sondaggio	ST_BH 5	Orario inizio	08:00

Riepilogo dei dati

Profondità (m dal p.c.)	tempi osservati t_o "P" (ms)	tempi osservati t_o "S" (ms)	tempi corretti t_c "P" (ms)	tempi corretti t_c "S" (ms)	velocità intervallo V_p (m/s)	velocità intervallo V_s (m/s)	V_p/V_s	Poisson (n)	γ_n gamma NATURALE	G Mpa	E Mpa
1	5,00	7,70	1,58	2,43	632	411	1,5	0,14	1,80	304	689
2	6,40	11,00	3,55	6,10	317	134	2,4	0,39	1,80	32	90
4	8,60	16,40	6,88	13,12	634	258	2,5	0,40	1,80	120	336
6	9,80	19,80	8,77	17,71	1.424	502	2,8	0,43	1,80	454	1.298
8	10,60	23,40	9,93	21,91	2.295	510	4,5	0,47	1,80	468	1.380
10	11,50	27,30	11,02	26,15	2.107	486	4,3	0,47	1,90	449	1.322
12	12,40	30,10	12,03	29,20	2.143	689	3,1	0,44	1,90	902	2.601
14	13,30	33,50	13,00	32,76	2.165	573	3,8	0,46	1,90	624	1.825
16	14,30	36,70	14,06	36,07	1.961	613	3,2	0,45	1,90	714	2.063
18	15,40	39,80	15,19	39,26	1.790	635	2,8	0,43	1,90	767	2.190
20	16,30	43,20	16,12	42,72	2.195	581	3,8	0,46	1,90	641	1.876
22	17,25	46,70	17,09	46,27	2.084	566	3,7	0,46	1,90	608	1.776
24	18,40	50,40	18,26	50,01	1.724	536	3,2	0,45	1,90	546	1.579
26	19,60	53,90	19,47	53,54	1.655	567	2,9	0,43	1,90	612	1.753
28	20,45	56,90	20,33	56,58	2.339	663	3,5	0,46	1,90	834	2.430
30	21,35	60,30	21,24	60,00	2.210	585	3,8	0,46	1,90	650	1.902

$V_{s,30}$ Categoria del sottosuolo

475 m/s

Suolo di tipo "B"
360 m/s < $V_{s,30}$ < 800 m/s

Figura 18: Parametri Geotecnici di riferimento per adottati nella modellazione (Estratto della Relazione: Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel – ITALIA Allegato 05 - Rapporto tecnico delle prospezioni geofisiche del 2015 IPL00-URS-000-Q-TRG-0002-00_AII05-)

Fase 3: Definizione delle sorgenti vibrazionali per il sistema microtunneling e stima delle vibrazioni ambientali

Analizzando studi specifici realizzati in casi simili presenti sia in letteratura che in precedenti attività svolte per altri metanodotti realizzati in Italia, ed integrando tali informazioni con misure dirette delle sorgenti di vibrazioni effettuate in contesti e con macchinari simili, sono state definite le sorgenti delle vibrazioni generate dalla macchina che scaverà il microtunneling da utilizzare come input nelle modellazioni. In particolare la sorgente considerata è stata direttamente acquisita nei primi di Aprile in un cantiere simile come macchina di scavo e condizioni al contorno a quello in oggetto.

Misura della sorgente

Essendo attivo un cantiere a Cerro al Lambro (rif. metanodotto Cervignano-Mortara) con un microtunneling in fase di scavo in condizioni simili (oltre 10 metri di profondità ed in terreni sabbiosi saturi, si è provveduto ad acquisire direttamente sulla macchina la vibrazione generata. Il punto di misura è stato individuato all'interno del pozzo di spinta della TBM ad una profondità di -6m d.p.c (Figura 19) .

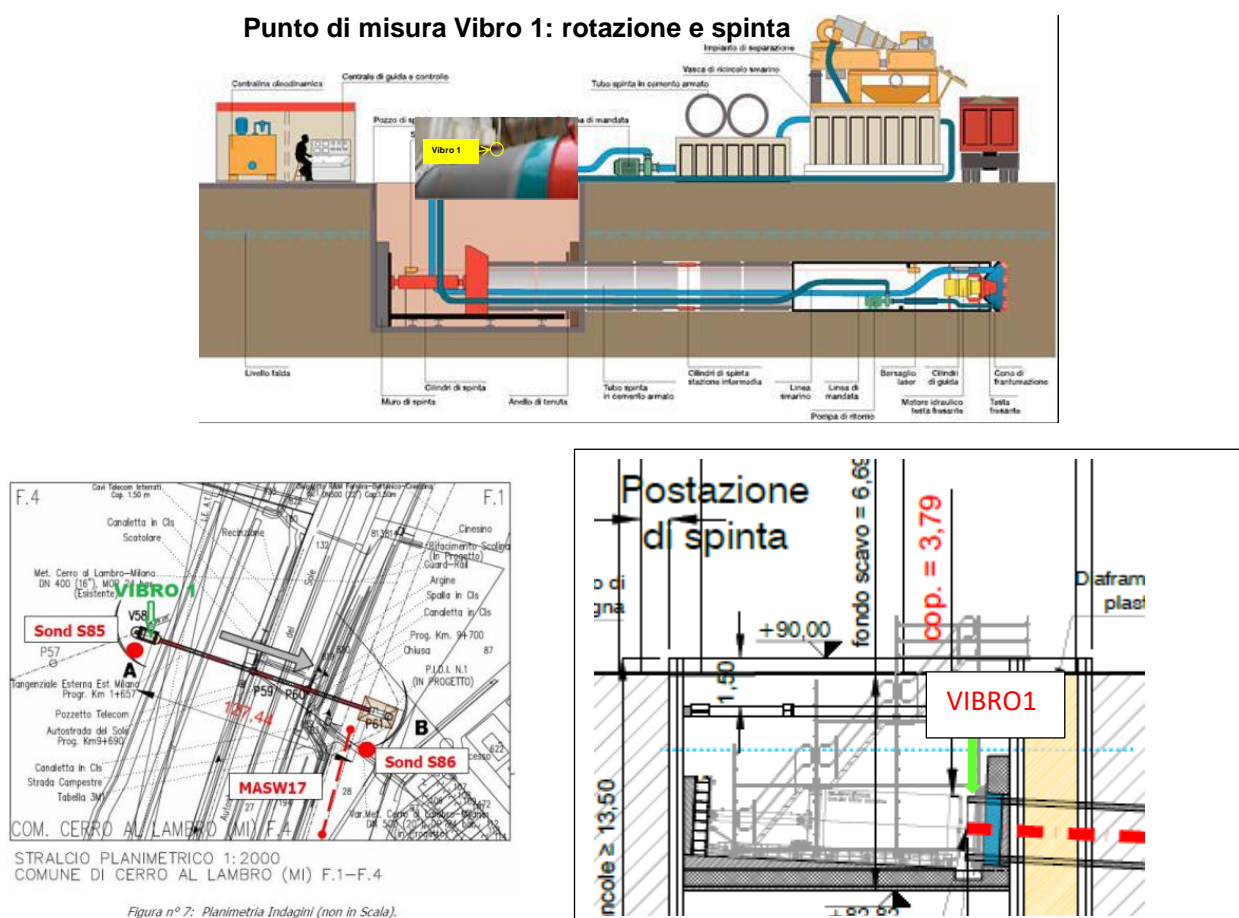


Figura 19: Punto di misura delle sorgenti di vibrazione



I segnali sono stati acquisiti con un sismografo GEOX della Sara Instruments dotato di velocimetri di frequenza propria di 4,5Hz dotati di sensibilità < 1 nanometro/secondo per count dotato di a/d converter a 24bit effettivi fra 0.1 e 10Hz, ENOB che permette sui tre canali campionamenti tra 10 e 600Hz. Il convertitore è un SADC20 che permette prestazioni elevate in abbinata a sensori elettrodinamici di diverse frequenze. Nel nostro caso si è adottata una frequenza di campionamento di 300 Hz, per raccogliere i dati di un singolo evento della durata di 60 sec per i tre canali X, Y, Z da cui derivare i relativi spettri di frequenza. L'evento è stato acquisito con la TBM in completa funzione registrando quindi sia la fase di avanzamento mediante la rotazione della testa di spinta sia della relativa fase di avanzamento e fase di spinta del tubo. I sismogrammi ottenuti sono fortemente simili ai segnali di vibrazione già raccolti con il monitoraggio vibrometrico effettuati in casi simili (Rif Metanodotto Villesse Gorizia – Studio Allegato).

La collocazione del punto di misura prossimo alla bocca di spinta e sopra al tubo di spinta (anche in condizioni di criticità dello strumento) ha permesso anche di ricevere la massima parte delle vibrazioni originata dalla TBM minimamente condizionate dalle altre attività di cantiere e dalla vicine vie di scorrimento veicolare veloce (autostrada e tangenziale).

In Figura 20 sono riportati i grafici dell'evento in X, Y, Z (con asse Y orientato lungo la direzione di avanzamento e spinta). L'analisi dello spettro è stata eseguita sul segnale più gravoso ottenuto, cioè quello relativo all'asse Z (verticale). Lo spettro considerato è riportato in Figura 21, dove è messa anche in evidenza la finestra di analisi utilizzata per ricavare l'accelerogramma di input (che corrisponda all'evento rotazione +spinta del tubo).

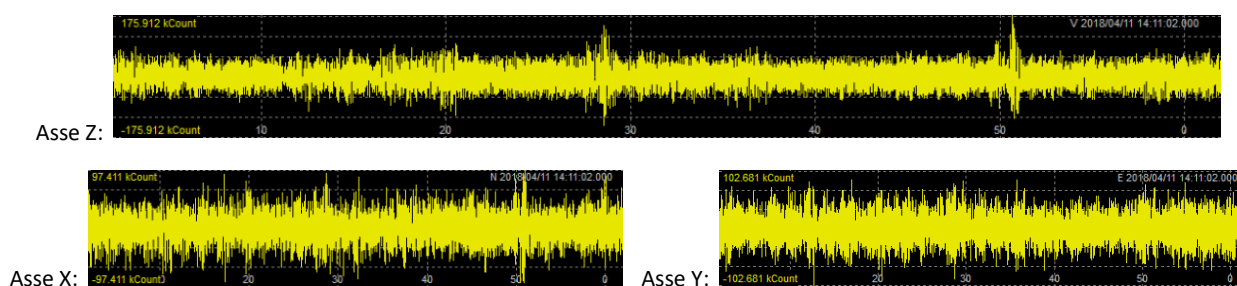


Figura 20: Grafici dell'evento

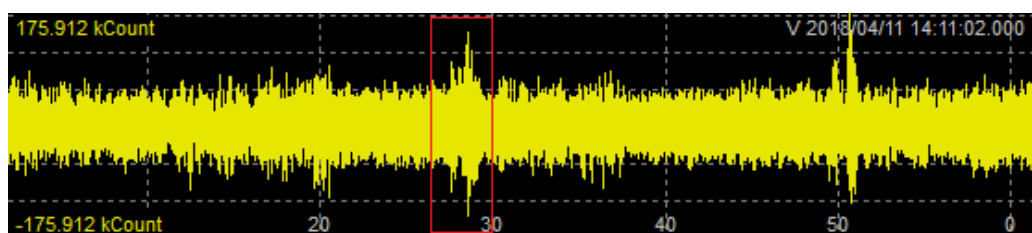


Figura 21: spettro adottato e finestra di analisi per ricavare l'accelerogramma di input



In seguito si riportano le elaborazioni del segnale evidenziato nella finestra rossa di Figura 21, costituite dallo spettro in frequenza (Figura 22) e dalle deconvoluzioni per riottenere il segnale in termini di velocità (velocity deconvolution, Figura 23) ed in termini di accelerazione (acceleration deconvolution, Figura 24).

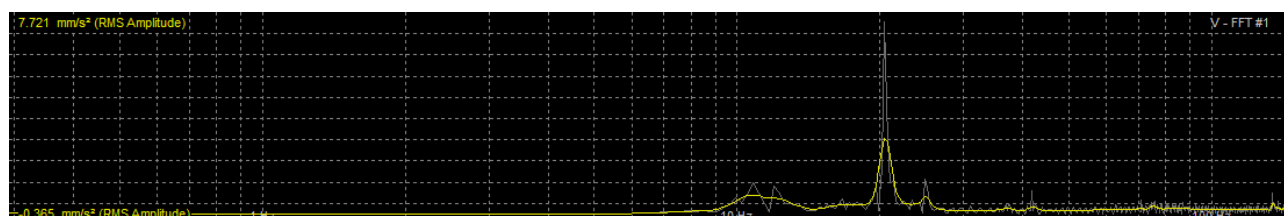


Figura 22: Spettro: frequenze con campo spettrale fra 10 e 60 Hz con un picco a circa 20 Hz

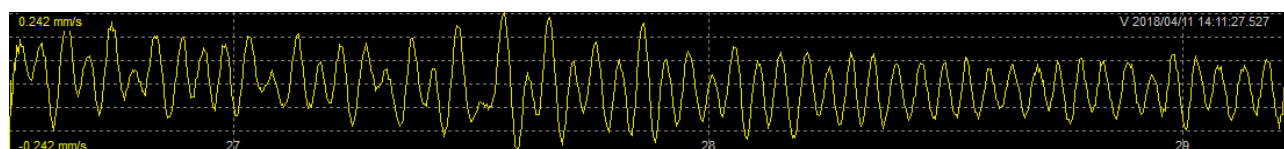


Figura 23: Estrazione della finestra dell'accelerogramma in termini di velocità

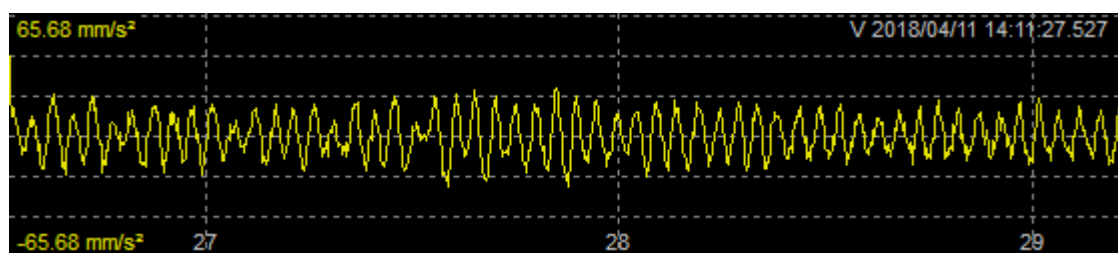


Figura 24: Estrazione della finestra dell'accelerogramma in termini di accelerazione

Nel modello realizzato è stato quindi inserito come sorgente delle vibrazioni il velocigramma riportato in Figura 25, dal quale è stata selezionata la finestra messa in evidenza e riportata per maggior chiarezza in Figura 26, in cui si può notare che la velocità di picco massima che caratterizza la macchina di scavo è di 0.24 mm/s.



Sorgente "Vibro 1" spinta e rotazione

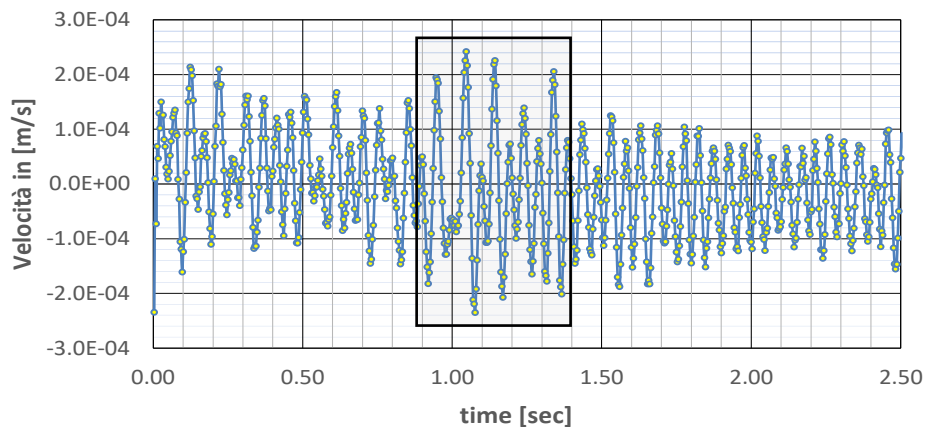


Figura 25: Sorgente di vibrazione del microtunnel (componente massima)

Sorgente nella finestra temporale 0.9s-1.4s

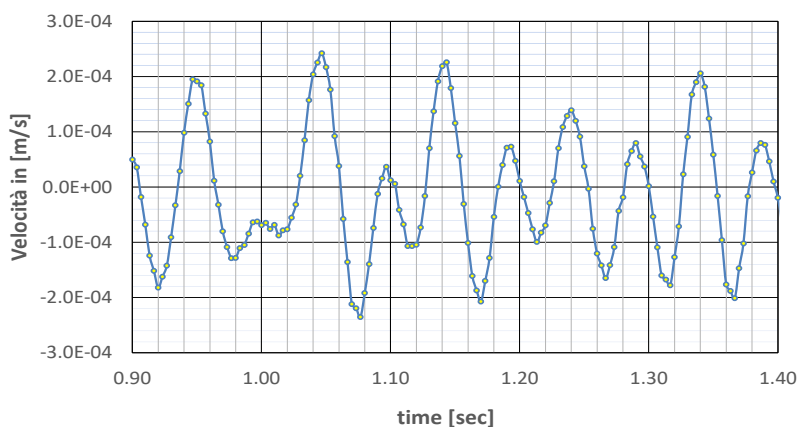


Figura 26: Sorgente di vibrazione del microtunnel utilizzata

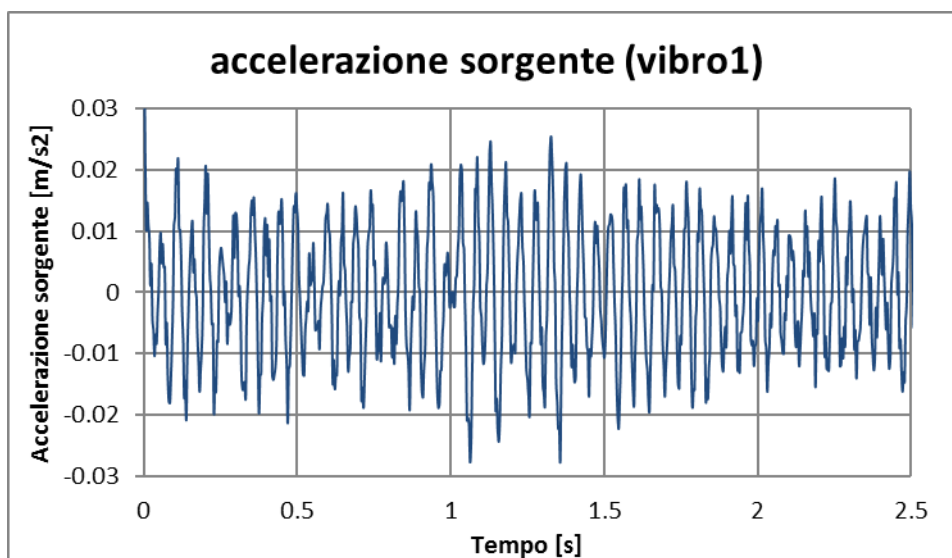


Figura 27: Segnale della sorgente convertito in accelerazione

Nello stesso sito non è stato possibile misurare le vibrazioni in arrivo in superficie poiché il sottopasso interessava anche un'arteria autostradale che copriva totalmente l'eventuale segnale in arrivo dal microtunneling

Leggi di attenuazione

Un elemento chiave per la modellazione numerica in campo dinamico è la conoscenza del fattore di attenuazione del terreno. In teoria il valore della rigidità dei substrati dovrebbe già fornire una prima stima. Se però fossero disponibili delle leggi di attenuazione ricavate da un monitoraggio esteso di scavi simili i margini di errori nella previsione possono ridursi cospicuamente. Il committente ha messo a disposizione un ampio dataset di misure vibrometriche condotte presso altri cantieri di (rif. Metanodotto Villesse-Gorizia – Studio Allegato). In particolare, in quelli richiamati nella relazione “Monitoraggio Vibrazionale e Fonometrico” per i progetti di Villesse e Vipacco. Si è pertanto deciso di adottare le curve di attenuazione ricavate nella citata relazione alle pagg. 24-27 che viene integralmente come allegato.

Tali leggi di attenuazione empiriche sono state ricavate in condizioni più gravose (minor ricoprimento) mediante monitoraggio continuo con velocimetri in due scavi di microtunneling realizzati per attraversamenti fluviali in terreni saturi costituite da sabbie medio grossolane e da limo sabbiosi tutti mediamente addensate molto permeabili analoghi al caso in esame ed appartenenti alla stessa classe.

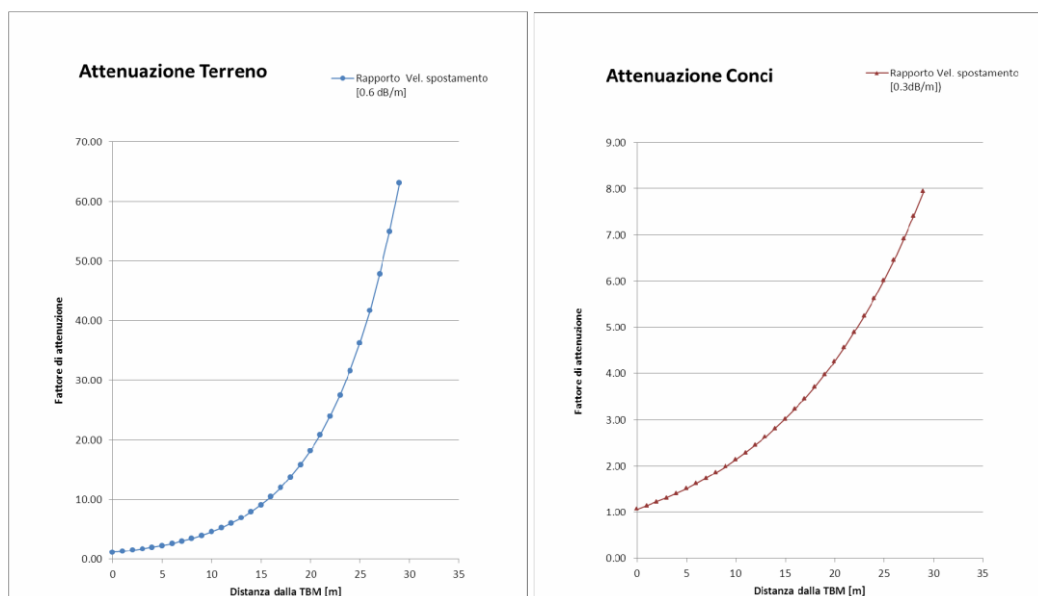
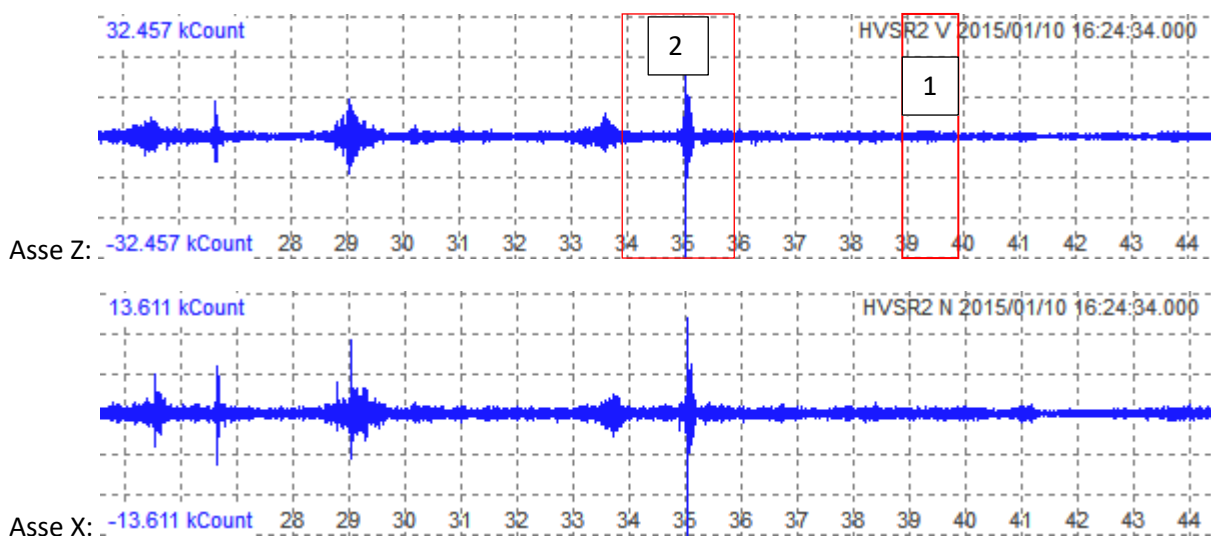


Figura 28: Legge di attenuazione adottata nel modello derivata da dettagliato monitoraggio in fase di scavo di microtunneling riportato nell'allegato 2 (Fig.2.21 e Fig. 2.22 estratte dalla relazione Monitoraggio Vibrazionale e Fonometrico prodotta i progetti di Villess e Vipacco)

Si ritiene che la disponibilità di tali dati (segnale sorgenti) e leggi di attenuazione effettuate in casi reali simili siano utilissime per calibrare e validare il modello complesso FEM 3D affinché fornisca risultati attendibili.

Stima delle vibrazioni ambientali

In questa sezione si riportano i dati di una registrazione condotta in aperta campagna e in condizioni di quiete ambientale in aree prossime al mare all'interno di un estuario fluviale; la lettura dei microtremori riportate nel seguito ha consentito di fornire una stima delle caratteristiche di microtremosi associati al moto ondoso (Figura 29).



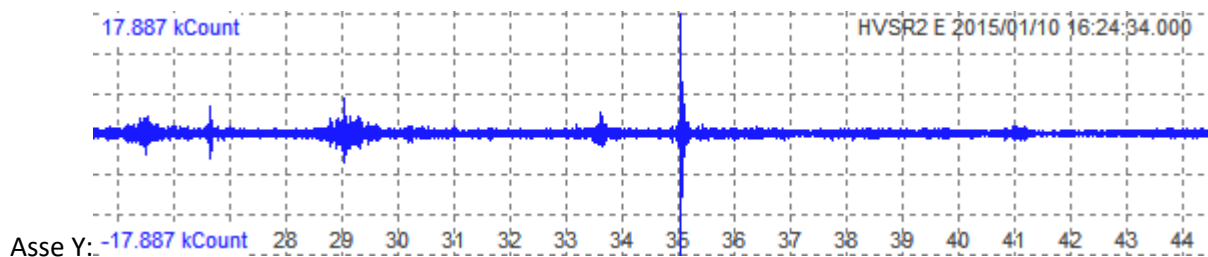


Figura 29: lettura di microtremori in aperta campagna

Considerando la finestra rossa riportata nella prima immagine di Figura 29 si ottiene il segnale riportato in Figura 30, da cui si può determinare lo spettro di Figura 31 e la relativa velocity deconvolution (Figura 32).

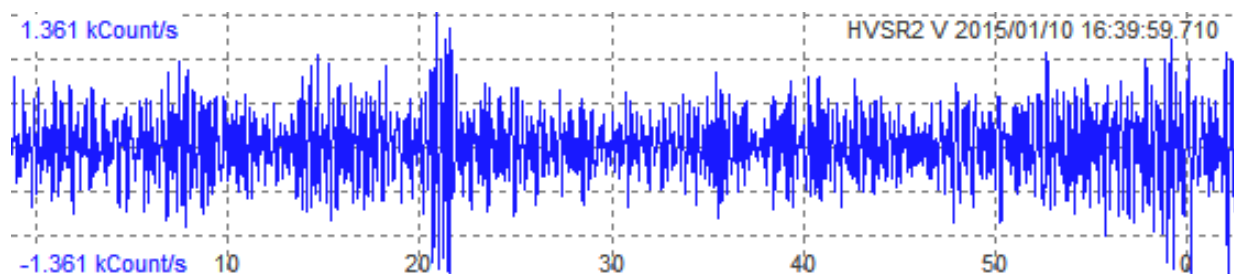


Figura 30: Segnale ottenuto dalla lettura in campagna

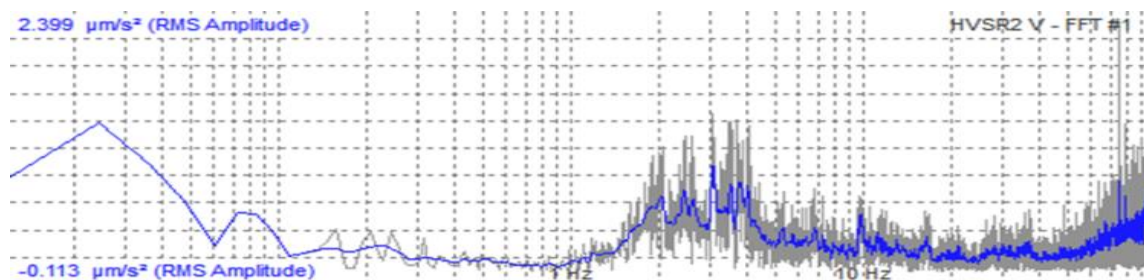


Figura 31: Spettro relativo alla lettura in campagna

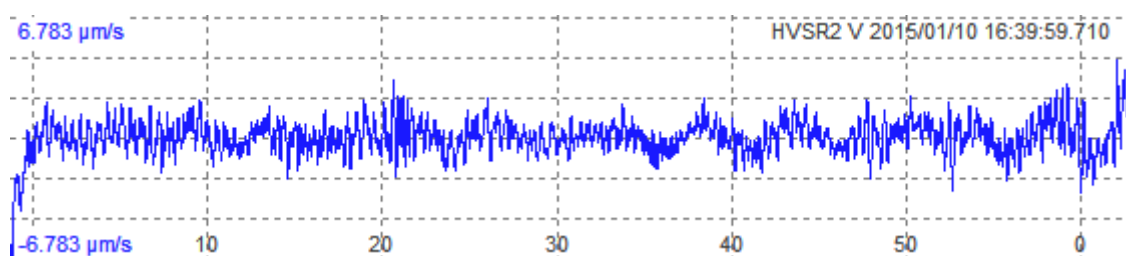


Figura 32: Velocity deconvolution

Assumendo che, in prossimità della linea di costa all'estuario fluviale, i transienti legati ai fenomeni ondosi (Figura 33 e Figura 34) aumentino (come frequenza e intensità) in un qualsiasi segnale registrato in condizioni di quiete ambientale, si può ragionevolmente pensare che il transiente di finestra 2 possa essere



rappresentativo dell'effetto di onde sul bagnasciuga. E' stato pertanto isolato un segnale con picco di velocità pari a 0.0536 mm/s idoneo ad poi essere utilizzato come confronto con i dati previsionali.

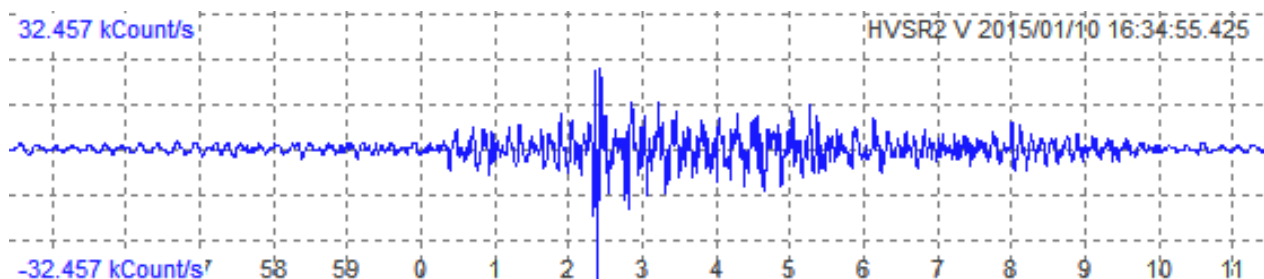


Figura 33: Transiente della finestra 2

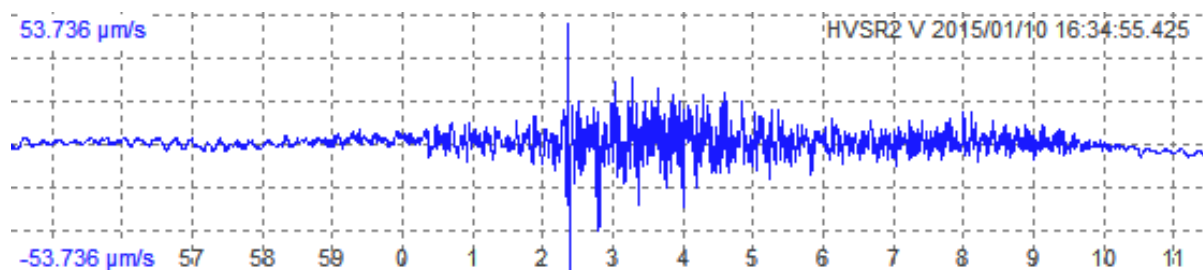


Figura 34: Velocity deconvolution della finestra 2

Questo fenomeno di variazioni di vibrazioni nella sua intensità legati anche all'aspetto ondoso e ben rappresenato in "Detailing agents of physical disturbance: wave-induced velocities an accelerations on a rocky shore" di Brian Gaylord della Stanford University dove si stabilisce una diretta correlazione fra l'altezza del moto ondoso e l'energia ad esso associato (vedi Figura 35) e di conseguenza trasmesso come fonte di vibrazione al terreno sabbioso di riva assumendo u valore minimo di 0.053 mm/s la velocità di picco minima di un modo ondoso medio/basso con altezza delle onde di 0.3cm,

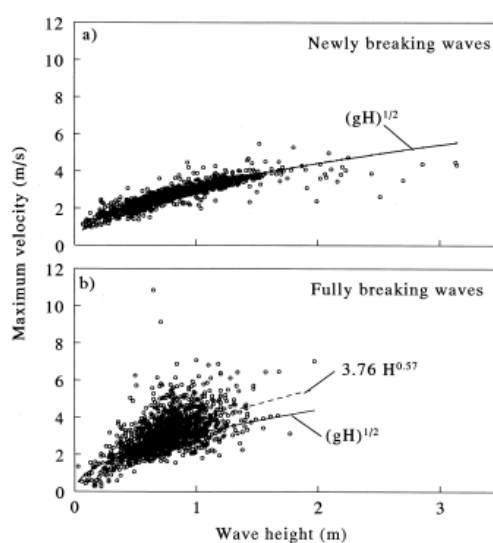


Figura 35: Correlazione fra l'altezza del moto ondoso e la massima velocità dell'acqua



Fase 4: Analisi numeriche per la definizione degli effetti di vibrazione misurati nei punti sensibili superficiali

Dopo una fase di calibrazione del modello numerico sulla base delle informazioni ottenute disponibili e degli input definiti, sono state svolte delle analisi numeriche previsionali per la definizione dei livelli di vibrazione in superficie (sia spiaggia che in mare) per stimarne gli effetti nei confronti dei ricettori potenziali (tartarughe marine). Particolare attenzione è stata dedicata alla fase di validazione dei risultati ottenuti utilizzando le misure nei campi prova simili al progetto in esame. Dopo una fase di calibrazione del modello numerico sulla base delle informazioni ottenute disponibili e degli input definiti, sono state svolte delle analisi numeriche previsionali per la definizione dei livelli di vibrazione in superficie (sia spiaggia che in mare) per stimarne gli effetti nei confronti dei ricettori potenziali (tartarughe marine). Particolare attenzione è stata dedicata alla fase validazione dei risultati ottenuti utilizzando le misure nei campi prova simili al progetto in esame.

Definizione del modello numerico, tipologia di analisi e modalità di applicazione delle sorgenti di vibrazione.

Al fine di effettuare analisi numeriche previsionali per la stima delle vibrazioni in oggetto, è stato utilizzato il metodo ad elementi finiti sul dominio di calcolo definito nella fase 1 e riportato in Figura 36. A tal scopo è stato utilizzato il software commerciale Midas Gts NX particolarmente adatto a trattare problemi geotecnici complessi che spaziano da analisi statiche (analisi in sforzi efficaci, di filtrazione, di consolidazione, di stabilità dei versanti) ad analisi dinamiche agli autovalori, spettrali e nel dominio del tempo. Queste ultime sono state utilizzate per il caso in oggetto.

Una volta definita la mesh ed assegnati i parametri riportati nella fase precedente, sono state prima svolte delle analisi agli autovalori per poter definire i modi propri di vibrare spuri, cioè associate alle dimensioni del modello numerico utilizzato. Rispetto a tali modi di vibrare sono stati definiti specifici coefficienti di smorzamento (damping) di Rayleigh che consentono di eliminare tali disturbi numerici e ottenere risultati attendibili.

Si è proceduto a considerare un primo modello completo che racchiudesse al suo interno tutti i punti sensibili presso i quali la mesh di calcolo è stata ulteriormente infittita considerando dei box di dimensioni 100 m x 200 m x 50 m.

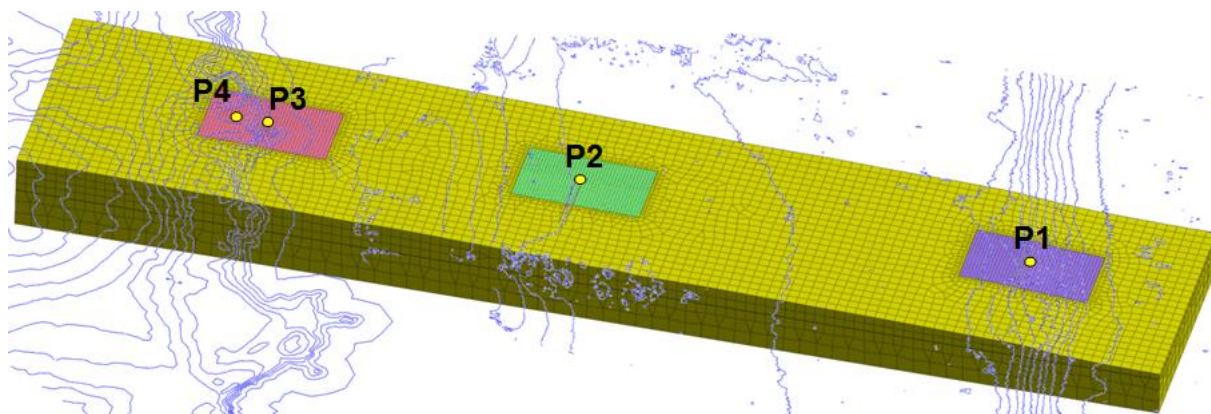


Figura 36: Mesh del modello completo e punti sensibili

La seconda serie di modelli di dettaglio (in tutto tre) sono stati realizzati con ulteriore inaffittimento della mesh per le aree sensibili. Il primo modello include i punti P3 e P4, essendo essi distanti tra loro solo 30 m, gli altri due i restanti punti P2 e P1.

Dopo aver effettuato per tutti i modelli creati le analisi agli autovalori e definiti i corretti smorzamento, vengono effettuate le vere e proprie analisi nel dominio del tempo, imponendo come input la sorgente di vibrazione definita nella fase 3 e riportata in Figura 37 per una durata di 0.5 secondi. Essendo una analisi dinamica, è necessario evitare la riflessione delle onde sulle pareti del dominio (essendo infatti il substrato roccioso infinito) e pertanto sono stati inseriti smorzatori viscosi adeguatamente calibrati sulle proprietà elastiche degli strati considerati del substrato.

Al fine di riprodurre in modo affidabile la vibrazione generata dalla macchina di scavo, si è scelto di applicare non solo alla fresa di scavo circolare (tunnel face), ma anche allo scudo ed a tutti gli anelli di rivestimento e spinta la stessa vibrazione nel dominio del tempo definita come sorgente, come mostrato dai punti rossi di Figura 38.

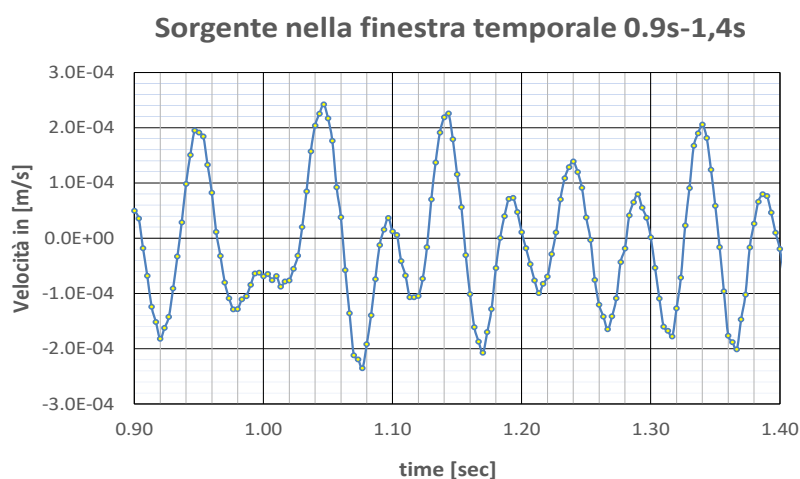


Figura 37: Sorgente di vibrazione del microtunnel utilizzata nei modelli di calcolo

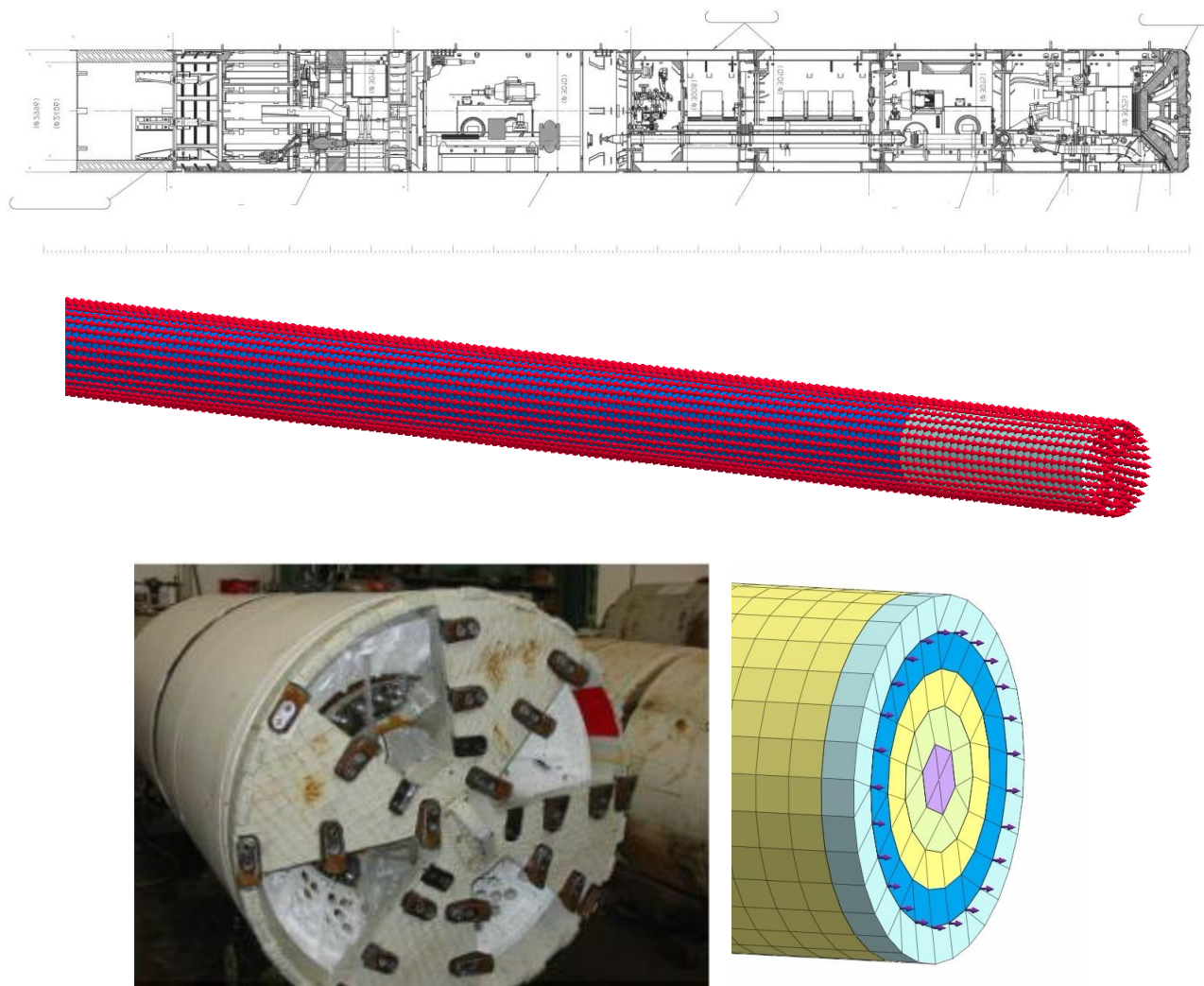


Figura 38: Analisi lungo tutto il lining del tunnel

La macchina di scavo (microtunneling MT) è modellata considerando lo scudo e la testa fresante un fronte di acciaio rigido mediante elementi solidi ed il rivestimento con elementi solidi di calcestruzzo. Come visibile in Figura 38 si è cercato di riprodurre fedelmente tutti i punti sorgente della fresa creando anelli concentrici posti in corrispondenza degli utensili di scavo (sorgenti di vibrazione).

Sono state adottate le seguenti ipotesi conservative:

- Ipotesi 1: la presenza del sistema di lubrificazione, necessaria per far scorrere i conci di calcestruzzo spinti dal pozzo di inizio durante tutto lo scavo è stata totalmente trascurata. Nella realtà infatti si pensa che, oltre alla lubrificazione, a causa della viscosità del lubrificante si ottiene un effetto smorzante non trascurabile per le vibrazioni. Per una scelta conservativa, tale aspetto della tecnologia di scavo è stato trascurato, andando così a prevedere scenari decisamente cautelativi.
- Ipotesi 2: la sorgente di vibrazione è stata applicata senza alcun coefficiente di attenuazione, sia alla testa che a tutti gli anelli di rivestimento inseriti nelle varie fasi. In fase 3 si è riportata l'attenuazione



definita sperimentalmente sulla base dei dati di monitoraggio in contesti simili. Tale attenuazione, riportata anche in Figura 40, è stata trascurata, considerando esclusivamente l'attenuazione del terreno.

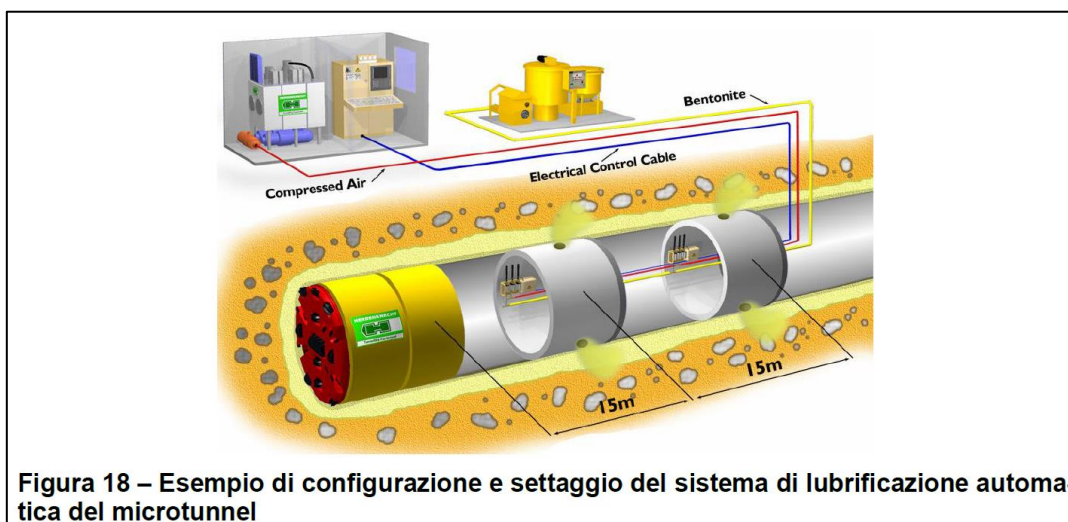


Figura 39: Sistema di lubrificazione

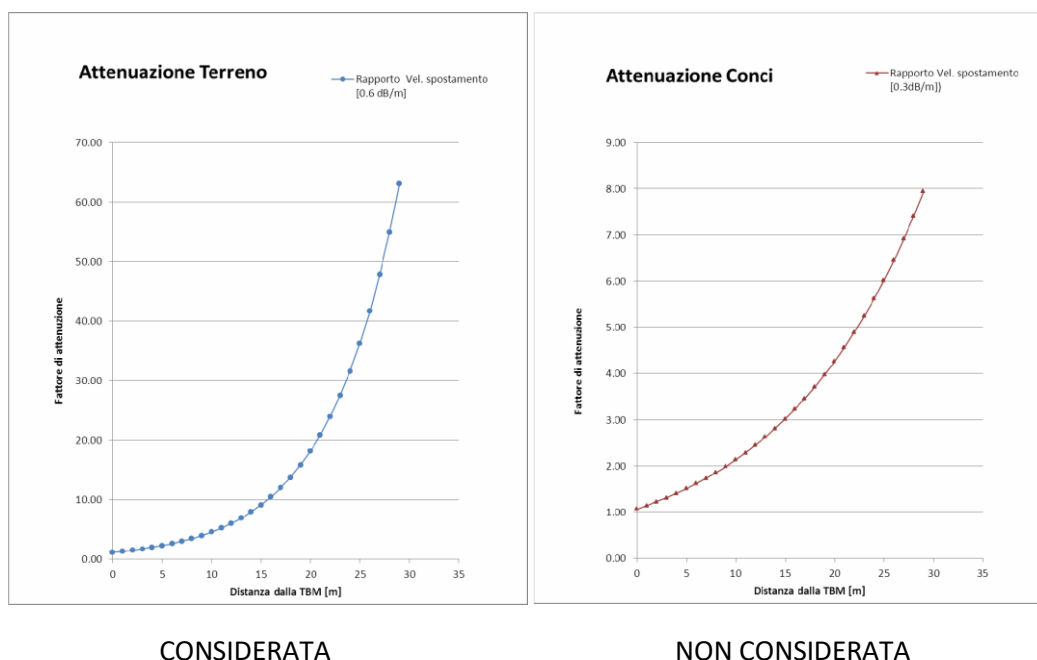


Figura 40: Legge di attenuazione per il terreno e per i conci



Si è pertanto proceduto ad una analisi nel dominio del tempo effettuando quattro diverse analisi, ciascuna per ogni singolo punto sensibile. Occorre quindi considerare la seguente modalità di analisi. Considerando ad esempio il punto P4, si assume che:

- la macchina sia arrivata a scavare con la testa fresante perfettamente in linea con il punto P4;
- il materiale scavato partendo da terra verso mare fino al punto P4 è totalmente rimosso;
- la fresa, lo scudo di acciaio e i conci sono attivati partendo da terra e fino al punto P4;
- le sorgenti di vibrazione sono applicate a tutti i punti della mesh rappresentanti la macchina di microtunneling;
- la parte di terreno davanti al fronte di scavo risulta non scavato e non soggetto a sorgente di vibrazione.

La procedura sopra descritta è stata sistematicamente applicata anche per i punti P3, P2 e P1 e viene spiegata graficamente nella sezione di Figura 43 nella quale si riportano alcune immagini del modello completo.

Modello completo

Questo primo modello realizzato (Figura 41 e Figura 42) ha lo scopo di mostrare la modalità di analisi con i successivi avanzamenti dello scavo fino ai quattro punti di interesse e di valutare l'affidabilità dei modelli più piccoli che ne aumentano l'accuratezza. In particolare in Figura 42 è possibile vedere uno spaccato dei tunnel in fase di avanzamento, come citato nel paragrafo precedente.

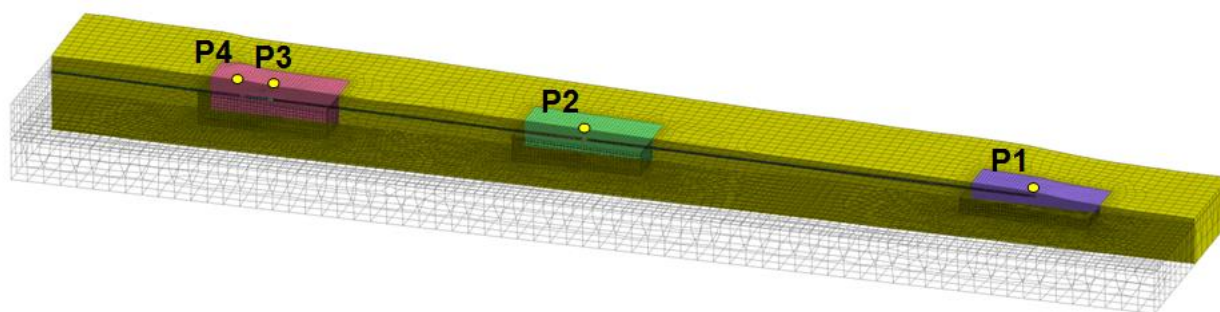


Figura 41: Mesh del modello completo e punti sensibili

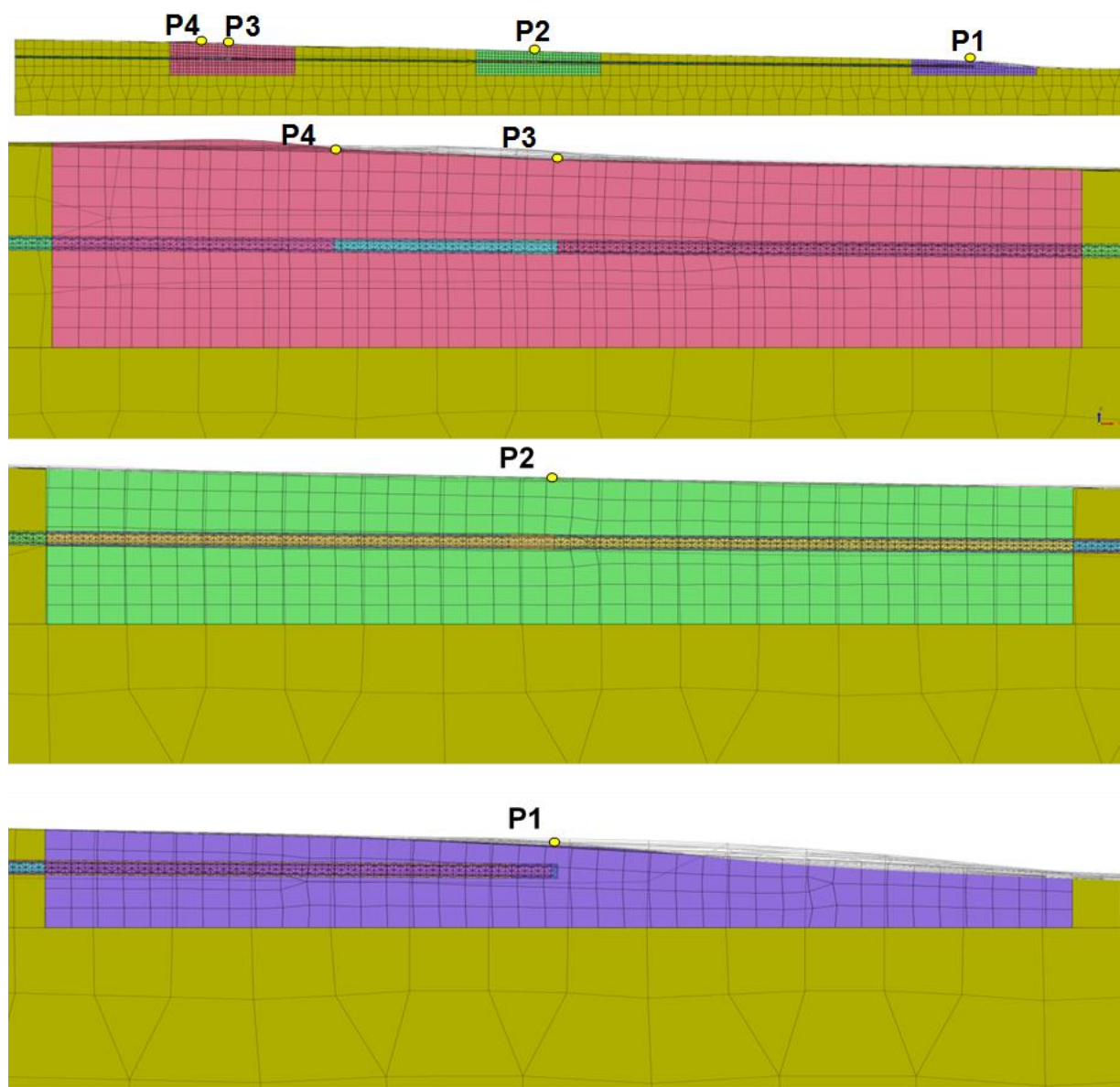


Figura 42: Mesh del modello completo e punti sensibili, sezione trasversale

I risultati delle analisi effettuate con il modello globale, per i successivi avanzamenti a partire dai punti P4, P3, P2 e P1 sono qualitativamente mostrati come contour di velocità in Figura 43. Da tali screen shot è possibile percepire la dispersione delle vibrazione nel volume intorno allo scavo per le diversi fasi di avanzamento.

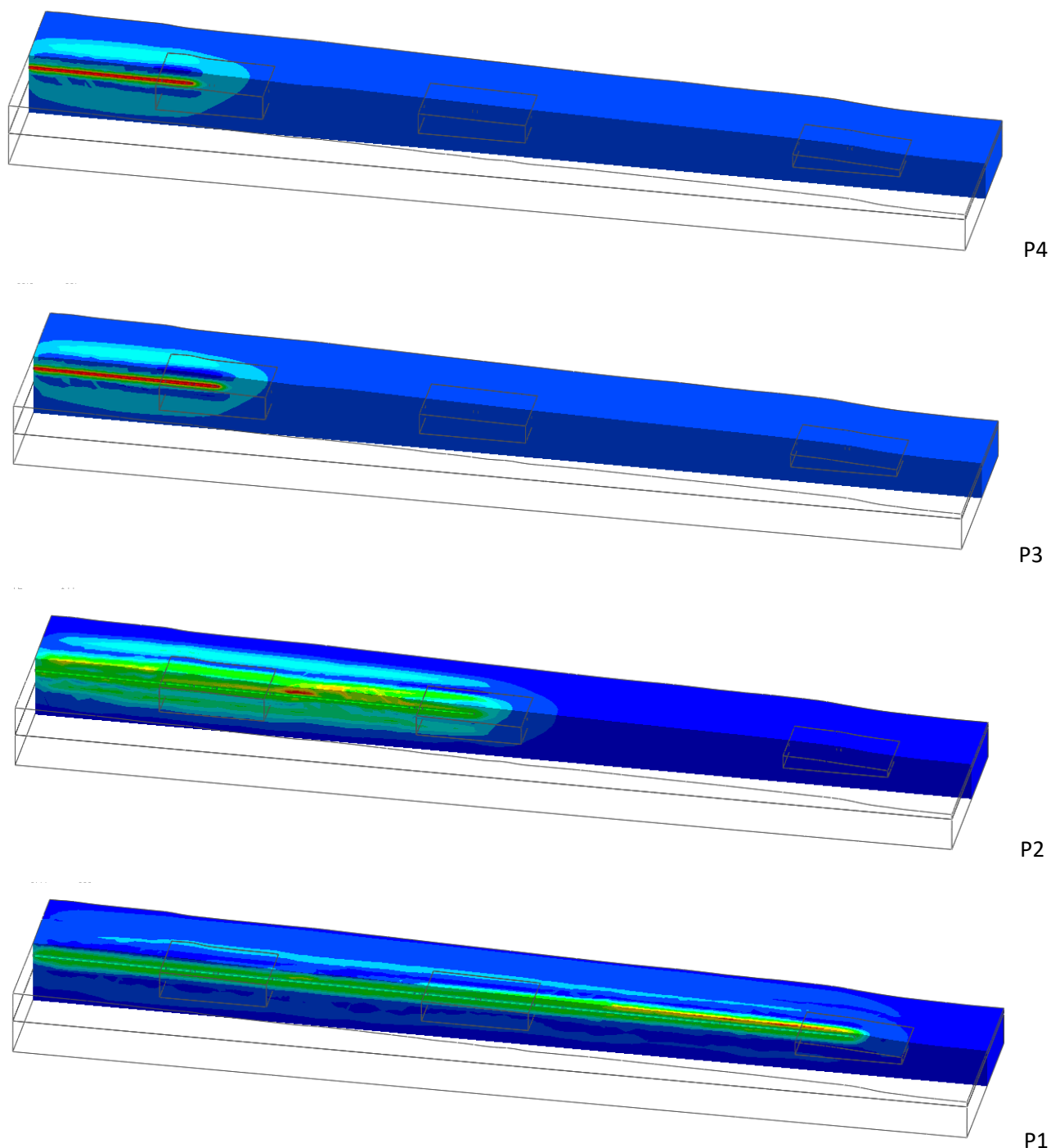


Figura 43: contour della velocità normalizzata rispetto al valore massimo (rosso valore unitario), che mostrano la propagazione spaziale nel volume circostante lo scavo per i differenti avanzamenti

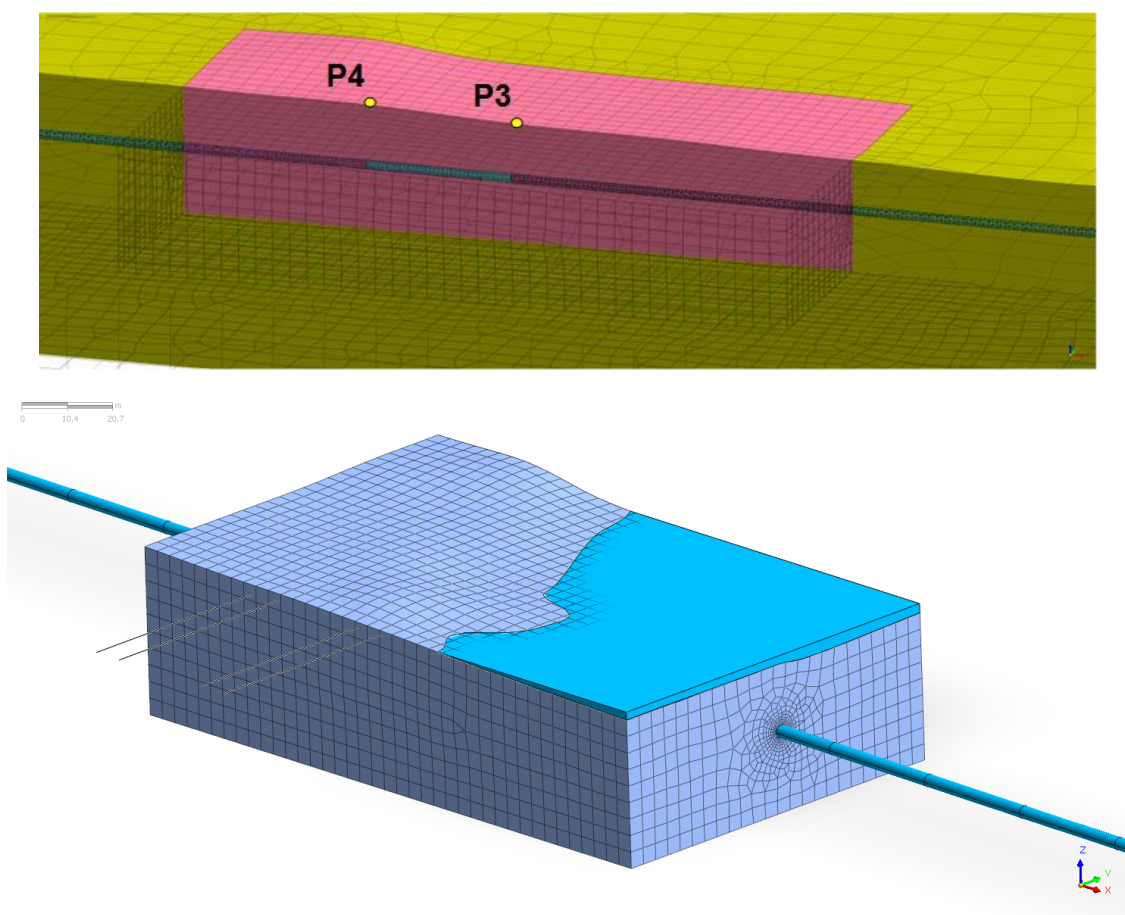
Successivamente sono stati creati i modelli di dettaglio che verranno presentati in seguito e che hanno permesso di migliorare l'accuratezza dei risultati di un 20%, svolgendo due analisi a pari condizioni di input ma differenti mesh.



Modello di dettaglio per i punti sensibili

Sono stati realizzati i tre modelli di dettaglio mostrati in Figura 44, Figura 45 e Figura 46.

Essi sono stati utilizzati anzitutto per effettuare una back analysis svolta sul solo punto P4 per poter calibrare il modello al fine di tenere in conto della legge di attenuazione per il terreno considerata (Figura 40). In particolare il modello P4 considera 16 m di ricoprimento e la legge di attenuazione riporta un valore 10. Ciò significa che il modello deve attenuare il segnale con tale ricoprimento con lo stesso fattore 10.



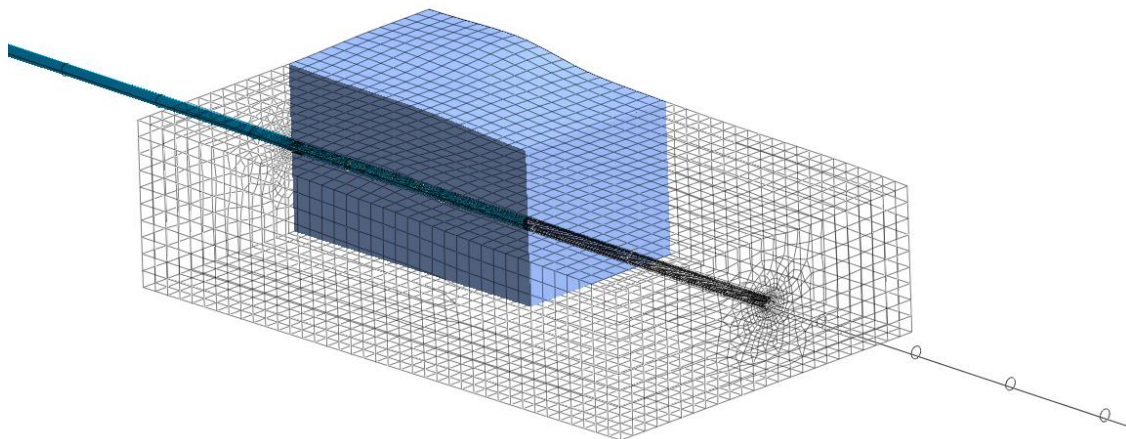
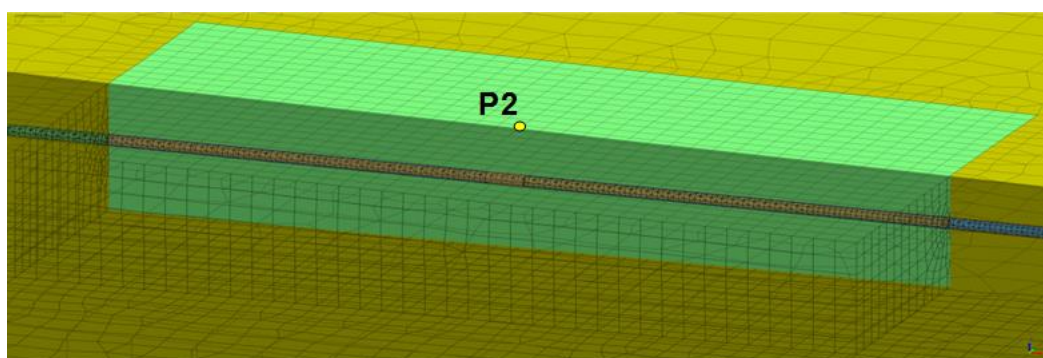
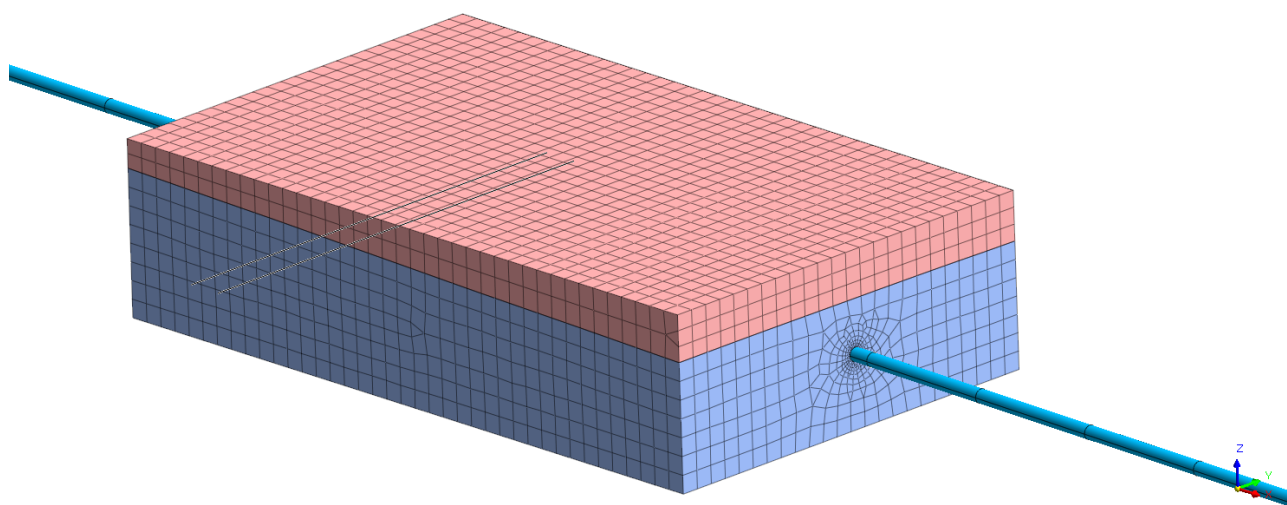


Figura 44: Mesh del modello delle aree sensibili P4, P3



0 10.4 20.7 m



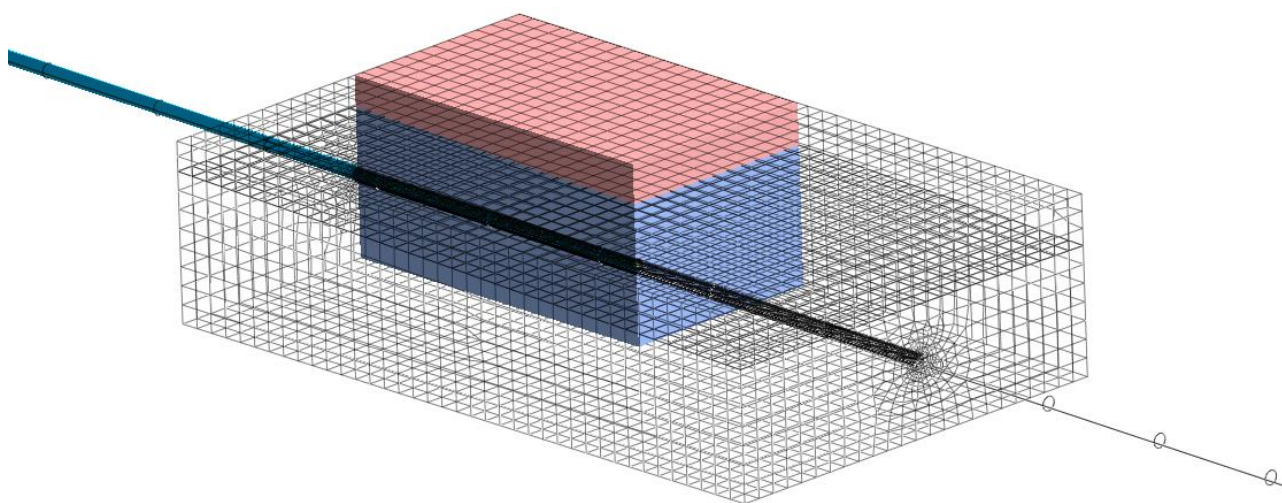
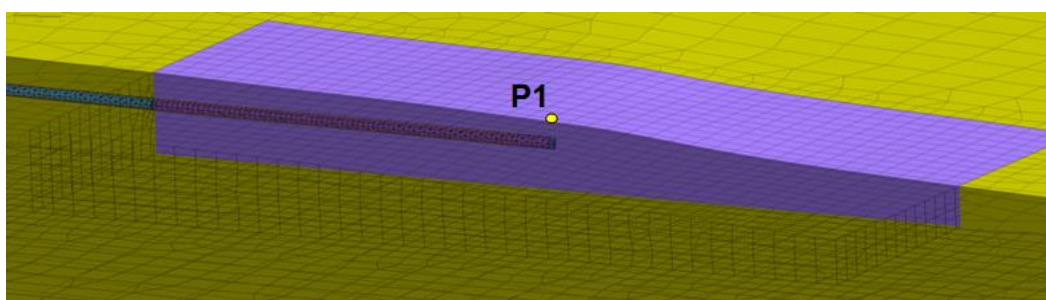
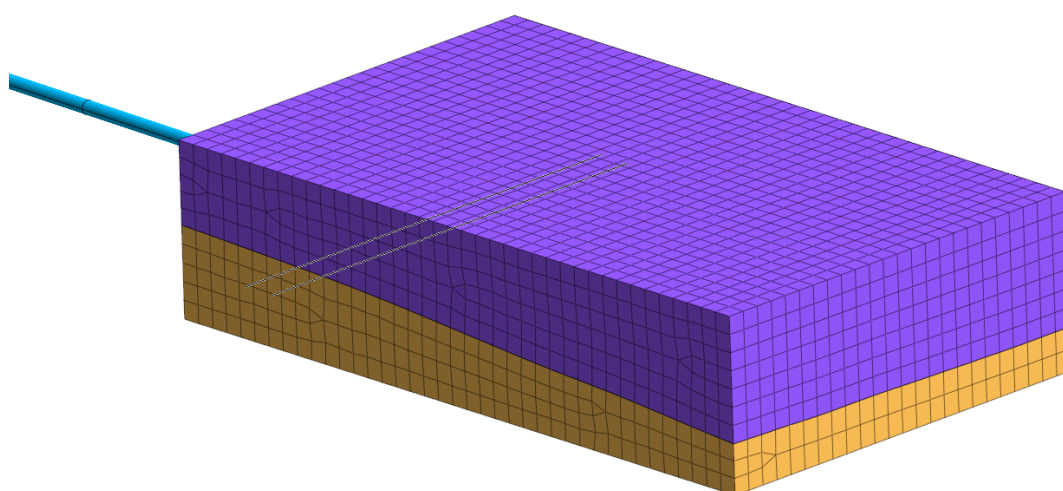


Figura 45: Mesh del modello dell'area sensibile P2



0 10.4 20.7 m



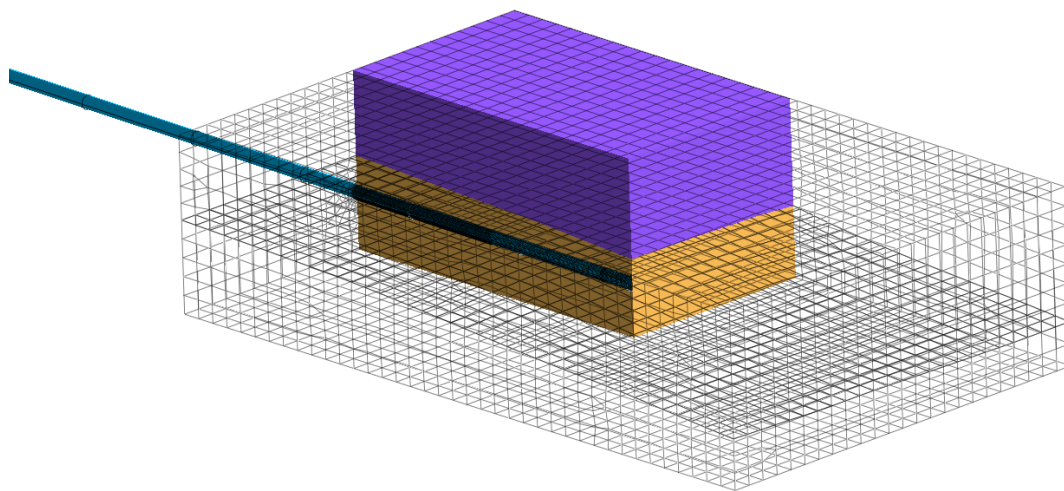


Figura 46: Mesh del modello dell'area sensibile P1

Risultati in termini di velocità e accelerazione nei punti sensibili

Per tali modelli sono state svolte le quattro analisi corrispondenti e, per chiarezza espositiva, si riportano nelle immagini che seguono (Figura 47-Figura 54) i grafici velocità-tempo e accelerazione-tempo previsti dal modello nei quattro punti sensibili. Questi risultati sono poi stati utilizzati per fare le valutazioni di confronto con la normativa vigente e condizioni di rumore ambientale riportati nelle successive sezioni.

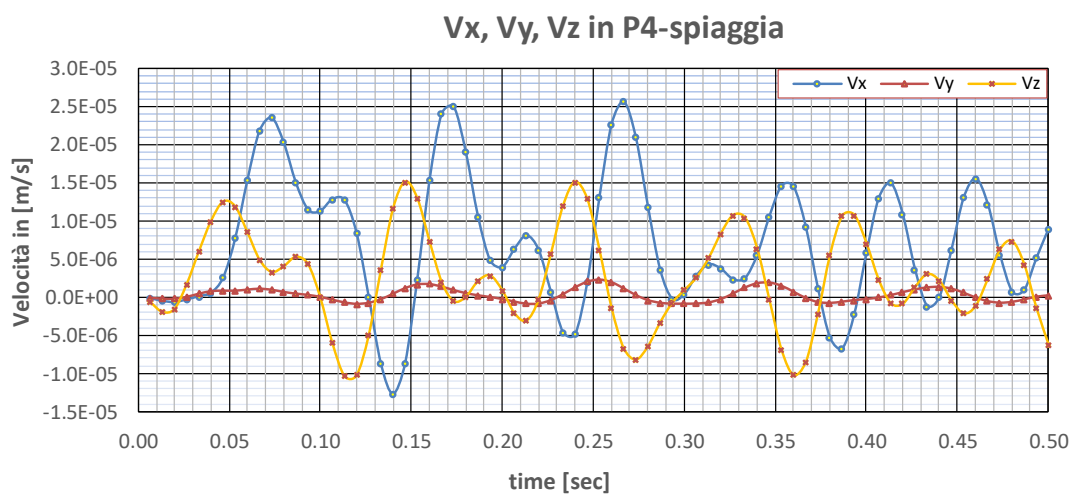


Figura 47: Grafico velocità-tempo previsto durante lo scavo in P4



Vx, Vy, Vz in P3-bagnasciuga

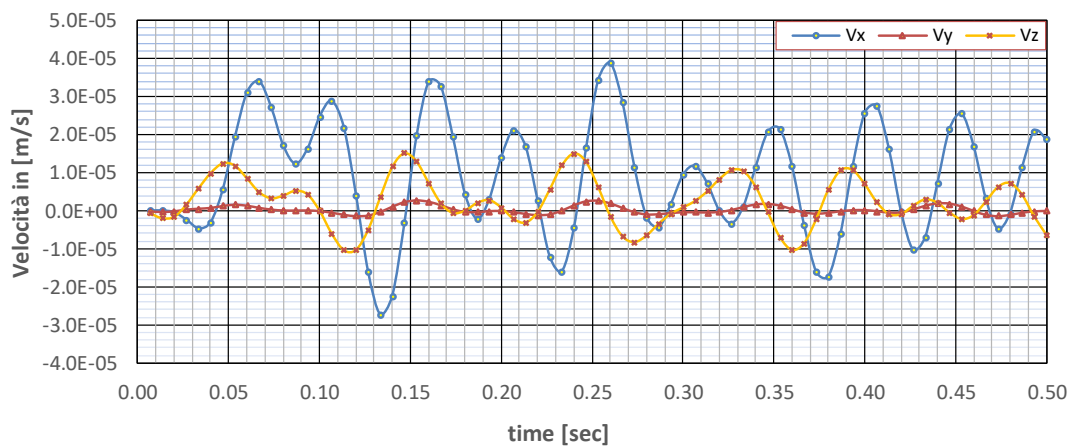


Figura 48: Grafico velocità-tempo previsto durante lo scavo in P3

Vx, Vy, Vz in P2-fondale a 382m dalla riva

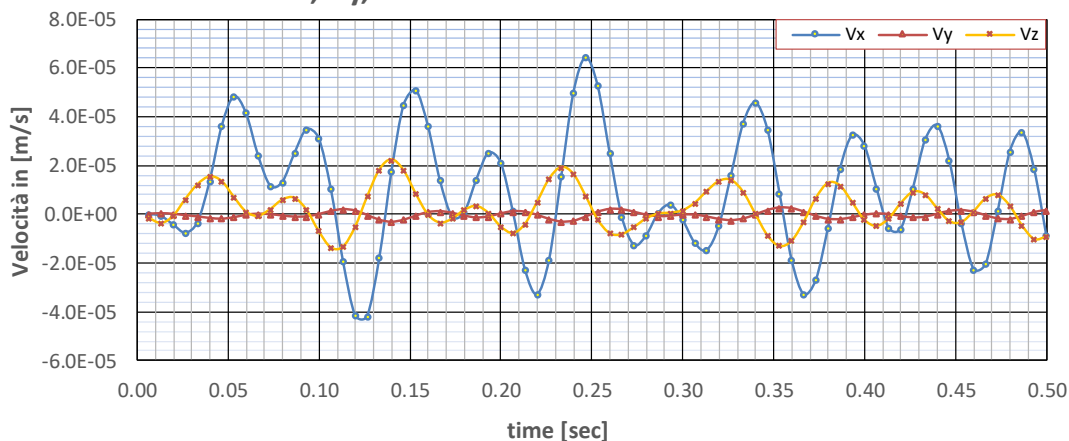


Figura 49: Grafico velocità-tempo previsto durante lo scavo in P2

Vx, Vy, Vz in P1-fondale a 928m dalla riva

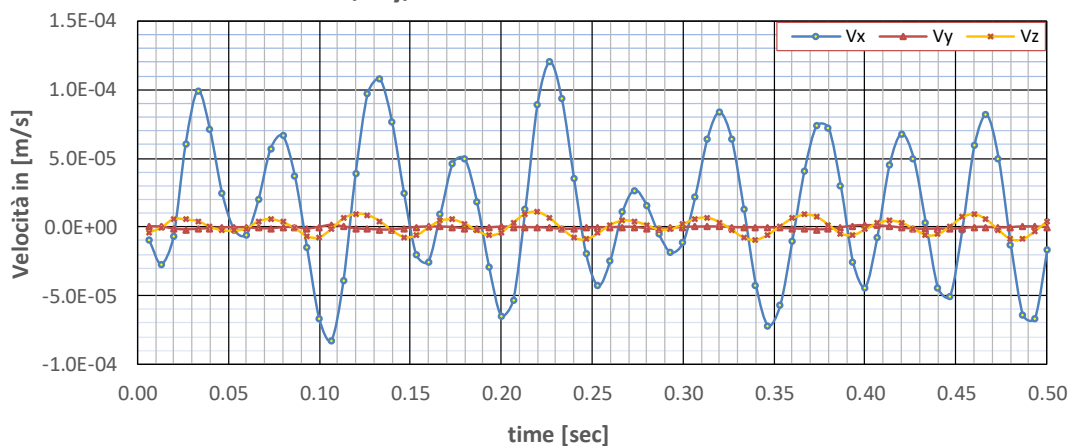


Figura 50: Grafico velocità-tempo previsto durante lo scavo in P1

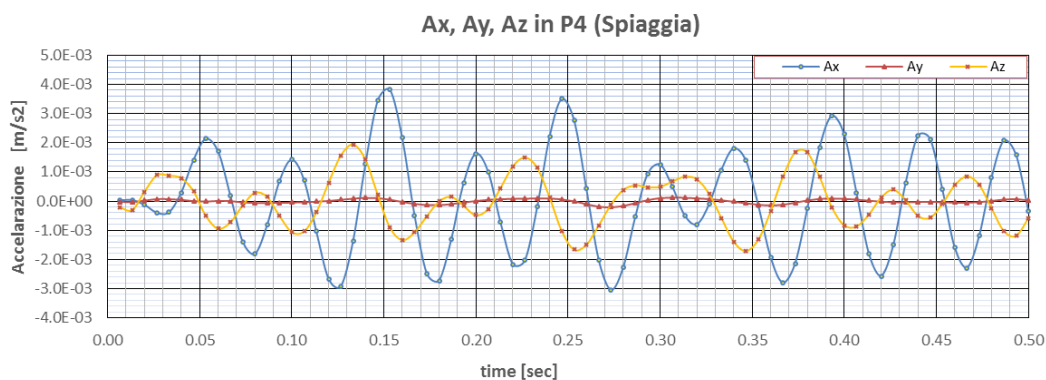


Figura 51: Grafico accelerazione-tempo previsto durante lo scavo in P4

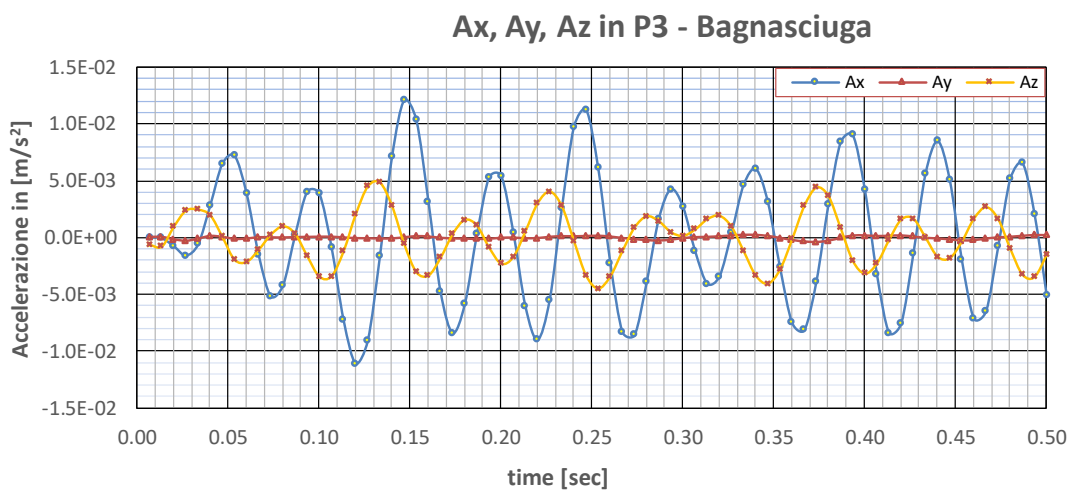


Figura 52: Grafico accelerazione-tempo previsto durante lo scavo in P3

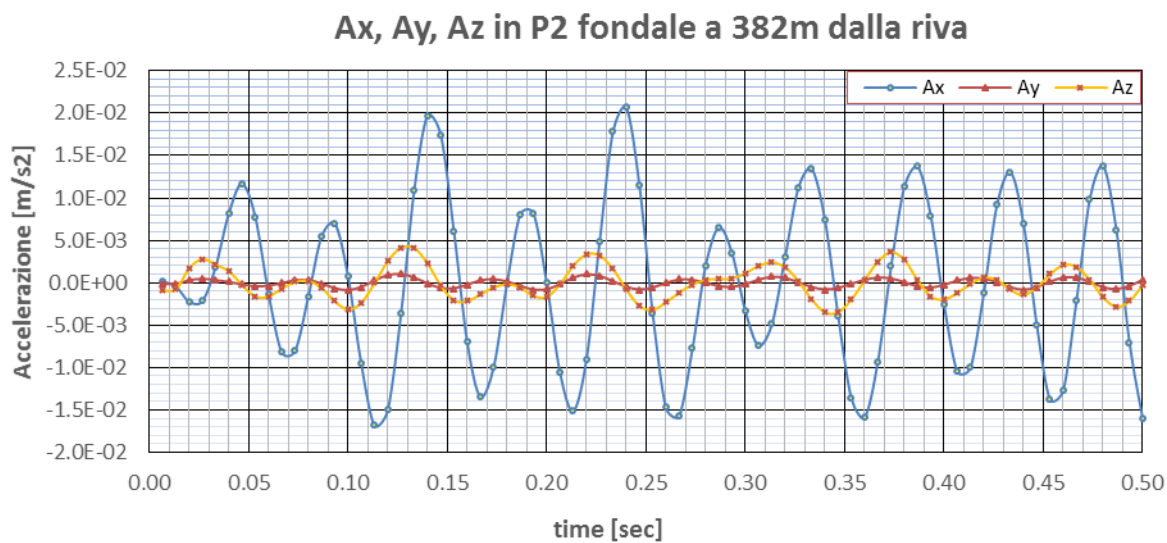


Figura 53: Grafico accelerazione-tempo previsto durante lo scavo in P2

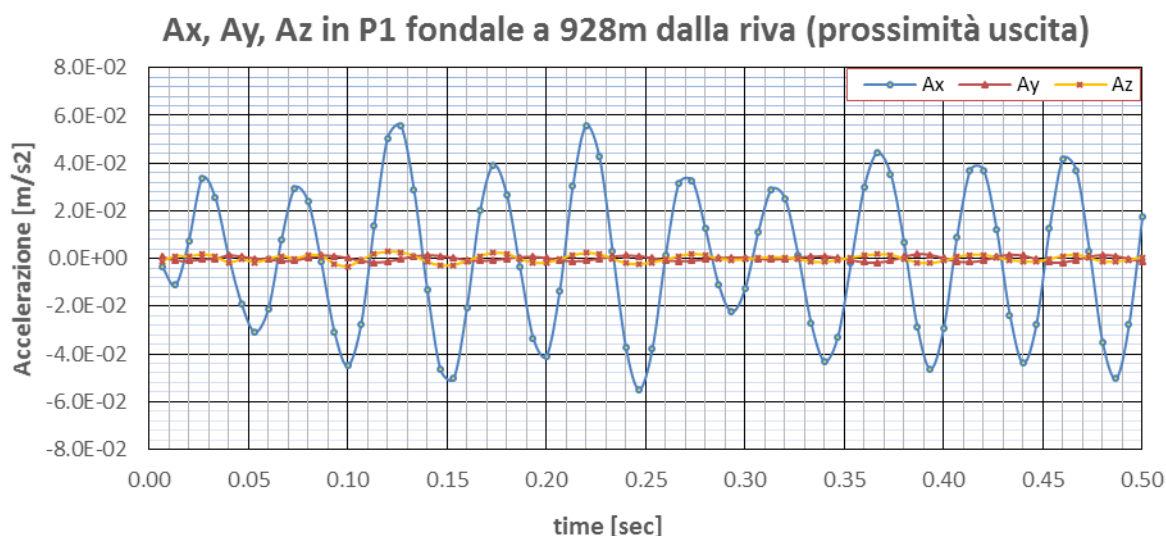


Figura 54: Grafico accelerazione-tempo previsto durante lo scavo in P1

I risultati utili alle valutazioni successive sono riportati nelle seguenti tabelle. In particolare, in Tabella 5 sono riportati sia i dati di picco in accelerazione e velocità di input (sorgente applicata alla macchina di scavo) che i dati di picco misurati nei punti sensibili. Si può notare che l'attenuazione in velocità per il punto P4 riprodotta dal modello è di 9.34, valore assolutamente in linea con il valore previsto dalla legge di attenuazione considerata pari a 10. Ciò mostra la corretta calibrazione del modello; infatti per il punto P3, P2 e P1, tale attenuazione si riduce poiché si riducono anche gli spessori di terreno sovrastante lo scavo. La tabella sarà utile per l'analisi delle vibrazioni meccaniche che interesseranno la spiaggia e il bagnasciuga e quindi la deposizione delle uova di tartaruga.

Vibrazioni "meccaniche" - Punti P4 (Spiaggia) e P3 (Bagnasciuga)			
VELOCITA' PREVISTA DALLA MODELLAZIONE	UdM	P4 - Spiaggia	P3 - Bagnasciuga
SORGENTE: Picco Velocità Massima Sorgente PVMS	[mm/s]	0.2400	0.2400
SUPERFICIE: Picco Velocità Massima Calcolata in superficie PVMCS [m]	[mm/s]	0.0257	0.0389
Attenuazione (Rapporto tra PVMCS e PVMS)	[-]	9.3385	6.1697
ACCELERAZIONE CALCOLATA			
SORGENTE: RMS Accelerazione Massima A_max_RMS_Sorgente	[mm/s²]	10.8847	10.8847
SUPERFICIE: RMS Accelerazione Massima A_max_RMS_Superficie	[mm/s²]	1.8800	1.6600
Attenuazione (A_max_RMS_Superficie/A_max_RMS_Sorgente)	[-]	5.7897	6.5571

Tabella 5: Velocità ed accelerazioni previste dalla modellazione nei punti P3, P4

La Tabella 6 invece riporta i valori dei punti sensibili P2 e P1 che indicano la vibrazione meccanica che arriva al fondale marino e che potrebbe eventualmente avere come unico effetto negativo la generazione di rumore subacqueo. Il dato interessante da osservare per i punti P1 e P2 è il valore di accelerazione massima al suolo che, se normalizzato con l'accelerazione di gravità g , fornisce valori di PGA.



Vibrazioni "meccaniche" in arrivo al FONDALE - Punti P2 e P1			
VELOCITA' PREVISTA DALLA MODELLAZIONE	UdM	P2 - Fondale (382m da riva)	P2 - Fondale (928m da riva)
Picco Velocità Massima Sorgente PVMS	[mm/s]	0.2400	0.2400
Picco Velocità Massima Calcolata in superficie PVMCS [mm/s]	[mm/s]	0.0645	0.1200
Attenuazione (Rapporto tra PVMCS e PVMS)	[-]	3.7209	2.0000
ACCELERAZIONE CALCOLATA			
SORGENTE: RMS Accelerazione Massima A_max_RMS_Sorgente	[mm/s ²]	10.8847	10.8847
SUPERFICIE: RMS Accelerazione Massima A_max_RMS_Superficie	[mm/s²]	2.8500	8.7800
Attenuazione (A_max_RMS_Superficie/A_max_RMS_Sorgente)	[-]	3.8192	1.2397
Stima della PGA	[-]	0.0003 g	0.0009 g

Tabella 6: Velocità ed accelerazioni previste dalla modellazione nei punti P2, P1

Fase 5: Analisi del rumore generato dalla macchina di scavo e della sua propagazione in superficie

Il rumore riscontrabile a livello della superficie e riconducibile alle fasi di scavo del microtunnel è generato da due sorgenti specifiche.

La prima raggruppa i macchinari che si trovano all'interno dello scudo (compresa la fresa) e si riferisce a rumore di tipo "aereo".

La seconda riguarda l'attività di fresatura vera e propria e può essere considerata come sorgente di rumore di tipo "impattivo".

Partendo dai livelli caratteristici generati dai macchinari utilizzati all'interno dello scudo e dalla rumorosità specifica derivante dall'attività di fresatura, per stimare i livelli di rumore presenti in superficie durante le attività di scavo, sono stati utilizzati dei modelli di simulazione semplificati.



Fase 5: Analisi del rumore generato dalla macchina di scavo e della sua propagazione in superficie

Il rumore riscontrabile a livello della superficie e riconducibile alle fasi di scavo del microtunnel è generato da due sorgenti specifiche (Figura 55). La prima raggruppa i macchinari che si trovano all'interno dello scudo (compresa la fresa) e si riferisce a rumore di tipo "aereo", la seconda riguarda l'attività di fresatura vera e propria e può essere considerata come sorgente di rumore di tipo "impattivo".

Il contributo delle due sorgenti verrà analizzato separatamente.

Per quanto riguarda la quantificazione del rumore aereo presente all'interno dello scudo che contiene i macchinari più rumorosi, sono state considerate le misure effettuate presso un sito simile (Cerro al Lambro). All'interno del tunnel, alla distanza di 40 metri dal punto di fresatura, le misure hanno fornito valori medi pari a 42 dB(A) e valori di picco pari a 77 dB(A). Di seguito i grafici che riportano la *time history* dei livelli rilevati e i corrispondenti valori medi (*LAeq*).

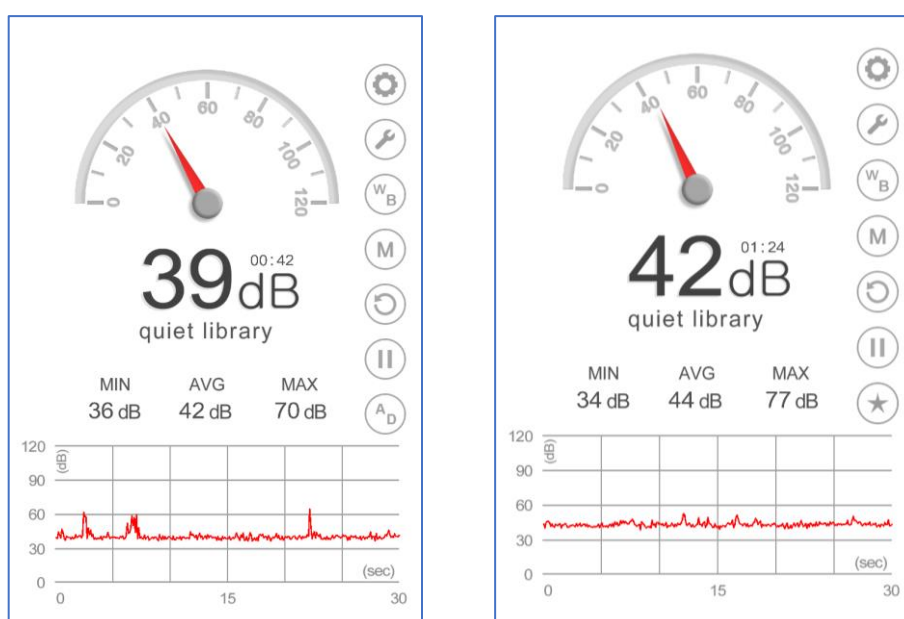


Figura 55: Livelli di rumore rilevati all'interno di un tunnel durante le attività di microtunneling

Per la valutazione del livello massimo di rumore che può raggiungere la superficie, verrà considerato il valore massimo rilevato pari a 77 dB(A) penalizzato, a scopo cautelativo, poiché lo strumento utilizzato non era di classe 1, di 15 dB. Il livello massimo di rumore aereo complessivo in corrispondenza della scudo può essere quindi cautelativamente considerato pari a 92 dB(A).



L'altezza dello strato di terreno che separa il microtunnel dalla superficie in mare e in corrispondenza del bagnasciuga non è mai inferiore a 10 metri. Uno strato di sabbia e ghiaia con spessore di 10 metri garantisce un abbattimento acustico complessivo pari a circa 100 dB (indice del potere fonoisolante R_w pari a 102 dB), come mostrato in Figura 56.

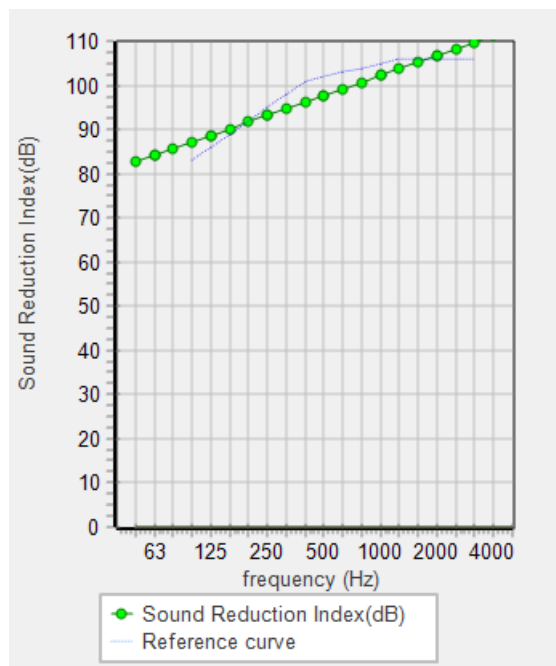


Figura 56: Isolamento acustico in funzione della frequenza di uno strato di sabbia/ghiaia con spessore pari a 10 m

A causa della sua variabilità, la densità dello strato di terreno, per il calcolo dell'abbattimento, è stata considerata cautelativamente pari al suo valore minimo ipotizzabile: 1300 Kg/m^3 ; per valori superiori anche il valore di abbattimento acustico risulterebbe superiore.

Considerando quindi il livello massimo ipotizzato (pari a 92 dB(A)) e l'abbattimento garantito dallo strato di materiale (pari a circa 100 dB), per quanto riguarda il rumore aereo, i livelli che raggiungono la superficie risultano nulli.

Nella valutazione del rumore complessivo che raggiunge la superficie, è necessario considerare anche la parte impattiva, quella cioè riconducibile al rumore di contattato tra la fresa e il terreno e che si genera durante le attività di scavo.

Poiché la velocità di rotazione della testa della fresa è pari al massimo a 8 giri al minuto, le frequenze acustiche corrispondenti sono pari al massimo a 0,13 Hz (armonica fondamentale, quella cioè con intensità massima). Questo valore è al di fuori del campo dell'udibile dell'uomo e di qualunque altro essere vivente che abbia dimensioni dell'ordine del metro.

Oltre al rumore legato alla periodicità del movimento rotatorio della fresa, è necessario considerare anche quello di contatto con il terreno, assimilabile a rumore di grattamento caratterizzato da frequenze medie (da 500 Hz a 2000 Hz) e alte (a partire da 2000 Hz).



Per ricavare l'attenuazione dei livelli di rumore impattivo riconducibile allo strato di sabbia e ghiaia sovrastante la testa della fresa, ci si può avvalere della formula empirica utilizzata per ricavare i livelli di rumore originati da sorgente impattiva normalizzata nelle strutture edilizie. Questo approccio è sicuramente conservativo poiché la rumorosità generata dalla macchina normalizzata (pari al massimo a 90 dB) è superiore a quella generata dal nostro sistema (92 dB considerando anche le componenti aeree).

Per una sorgente di rumore impattivo normalizzata, il livello di rumore risultante, dopo aver attraversato uno strato di materiale con una densità superficiale m' [kg/m^2], è il seguente:

$$L_{n,w} = 164 - 35 \log(m') \quad \text{dB}$$

Nel nostro caso, considerando, come per il rumore aereo, cautelativamente uno spessore di 10 metri e una densità pari a $1300 \text{ Kg}/\text{m}^3$, otteniamo un valore pari a 20 dB, valore acusticamente trascurabile nelle condizioni ambientali in esame.



Considerazioni conclusive

Analisi delle vibrazioni nel terreno

Al fine di trarre possibili conclusioni in merito alle vibrazioni meccaniche che potrebbero arrivare ai punti P4 (Spiaggia) e P3 (Bagnasciuga) in asse con il tunnel, e quindi da considerarsi come punti potenzialmente più critici, sono stati effettuati i seguenti confronti:

Confronto 1: Velocità di Picco calcolata rispetto normativa UNI 9916

La normativa UNI 9916 “Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici” fornisce i valori di riferimento delle velocità tollerabili da edifici di diversa tipologia. Nel caso più restrittivo, cioè le costruzioni degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici), il valore di riferimento è 2.5 mm/s. Pur non essendo direttamente comparabile un edificio storico con un nido di uova di tartaruga, il confronto tra il valore della normativa ed il valore massimo associato allo scavo del tunnel (0.039 mm/s in P3), si ottiene un fattore 64, che fornisce l’idea dell’ordine di grandezza della velocità prodotta dalla macchina di scavo. Tale valore massimo risulta essere decisamente inferiore ai valori indicati come appena percettibili da esseri umani (Siskind e al., 1980).

Confronto 1: Confronto Picco di Velocità previsto in superficie per scavo con UNI 9916			
Punto Sensibile	SUPERFICIE: Picco Velocità Massima Calcolata in Superficie PVMCS [mm/s]	Picco Velocità Normativa UNI 9916 - Caso più restrittivo [mm/s]	Rapporto
P4	0.0257	2.5000	97 volte in meno
P3	0.0389	2.5000	64 volte in meno

Tabella 7: Confronto 1 delle velocità del modello con i valori della normativa UNI 9916

Confronto 2: Velocità di Picco calcolata rispetto alle vibrazioni registrate per moto ondoso medio

La velocità di picco delle vibrazioni prodotte dal moto ondoso, registrata in condizioni di mare medie, è 0.054 mm/s. Questo valore rappresenta la condizione di vibrazione a cui sono generalmente esposte le uova di tartaruga deposte nel bagnasciuga ed è quindi un valore molto significativo. Esso risulta 1.38 volte superiore a quello determinato in fase di scavo. Le vibrazioni prodotte da mare molto mosso risulterebbero ancora maggiori.

Confronto 2: Confronto Picco di Velocità previsto con Picco Velocità di Moto Ondoso Medio/Basso (h< 0.3m)			
Punto Sensibile	SUPERFICIE: Picco Velocità Massima Calcolata in Superficie PVMCS [mm/s]	Picco Velocità di Moto Ondoso Medio/Basso (0.3m circa) [mm/s]	Rapporto
P4 (spiaggia)	0.0257	0.0536	2 volte in meno
P3 (bagnasciuga)	0.0389	0.0536	1.4 volte in meno

Tabella 8: Confronto 2 delle velocità del modello con i valori del moto ondoso

Confronto 3: Accelerazione RMS come componente massima rispetto alla normativa UNI 9614

La normativa UNI 9614/1990 “Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo” fornisce i valori massimi delle accelerazioni che garantiscono il comfort, l'efficienza lavorativa, la salute e



sicurezza dei soggetti esposti. Il valore più restrittivo, pari a 3.6 mm/s^2 , risulta 1.9 volte maggiore rispetto al valore massimo calcolato in P4, pari a 1.88 mm/s^2 .

Non si sono utilizzati i valori indicati nella normativa aggiornata UNI 9614/2017 perché in quest'ultima versione non si forniscono i valori delle accelerazioni massime tollerabili, ma tali valori sono filtrati con un filtro passa banda che ha lo scopo di isolare esclusivamente la banda passante significativa per la risposta del corpo umano al disturbo. Non essendo ovviamente disponibili valori filtrati per la risposta delle tartarughe, si è preferito utilizzare per il confronto direttamente i valori delle accelerazioni della versione precedente.

Confronto 3: Confronto Accelerazione Max (RMS) previsto con Accelerazione Max (RMS) previsto in UNI 9614/90			
Punto Sensibile	SUPERFICIE: Picco Velocità Massima Calcolata in Superficie PVMCS [mm/s]	Accelerazione Max Consentita Caso più conservativo UNI 9624/90	Rapporto
P4 (spiaggia)	1.8800	3.6000	1.9 volte in meno
P3 (bagnasciuga)	1.6600	3.6000	2.1 volte in meno

Tabella 9: Confronto delle accelerazioni del modello con i valori della normativa UNI 9614 (N: non si è utilizzata la norma 9614/2017 poiché non è definibile il filtro passa banda per le tartarughe)

Analisi del rumore in acqua

Per quanto riguarda la possibile generazione di rumore in acqua provocato dalle vibrazioni del fondale, si può escludere anche in questo caso che esso sia fonte di disturbo. Anzitutto è da considerarsi che il fondale per effetto della vibrazione dello scavo sottostante può vibrare con picchi di accelerazione massima (RMS) dell'ordine di 3 mm/s^2 nel punto di riferimento P2 con frequenza dominante di 20 Hz (non si considera il punto P1 perché in tale punto – uscita del tunnel – il disturbo è confinato in un brevissimo intervallo temporale a cui consegnerà l'arresto delle attività di scavo).

Trasformando il segnale in P2 in PGA (Peak Ground Acceleration), dividendolo per la costante g (9.81 m/s^2), otteniamo un valore di 0.0003 g m/s^2 . Tale valore è decisamente basso e paragonabile a quello associato al rumore di fondo o a microtremori del suolo.

Pertanto, non si ritengono associabili disturbi sonori in acqua indotti dallo scavo del microtunnel.

Va solo posta attenzione alla fase di uscita (Break-Out) della fresa, poiché in tale circostanza il ricoprimento si azzerà. Tale fase però è equivalente ad un transitorio di breve durata e quindi non compromettente l'avvicinamento delle tartarughe.

Analisi del rumore in aria

Le sorgenti di rumore che caratterizzano l'impianto di fresatura durante le attività di microtunneling sono di tipo "aereo" e di tipo "impattivo". I livelli di rumore caratteristici di queste sorgenti sono stati acquisiti e valutati in situazioni analoghe applicando criteri cautelativi. Considerando lo strato di terreno, costituito da almeno 10 metri di sabbia e ghiaia, che le onde sonore devono attraversare, è stato stimato che i livelli complessivi del rumore in superficie risultano trascurabili, impercettibili dall'uomo e molto inferiori ai livelli di rumore di fondo normalmente presenti in ambienti naturali silenziosi quali il litorale marino.



Riferimenti

- Gaylord, B. (1999). Detailing agents of physical disturbance: wave-induced velocities and accelerations on a rocky shore. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 239(1), 85-124.
- Report: Monitoraggio Vibrazionale e Fonometrico prodotta per i progetti di Villesse e Vipacco (2011).
- Report: Studio geotecnico e geofisico nell'area del Microtunnel – ITALIA Allegato 05 - Rapporto tecnico delle prospezioni geofisiche del 2015 IPL00-URS-000-Q-TRG-0002-00_All05-
- Report: OPL00 SPF 200 G TRX 0022 00 Approdo Italiano Caratterizzazione geotecnica del tratto offshore del Microtunnel, redatto da Saipem
- Siskind, D. E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., Dowding, C.H., 1980, Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration From Surface Mine Blasting, RI 8507, United States Department of the Interior, pp. 75.
- Siskind, D.E., Crum, S.V., Plis, M.N., 1993, Blast Vibrations and Other Potential Causes of Damage in Homes Near a Large Surface Coal Mine in Indiana, RI 9455, Bureau of Mines, pp. 62.
- Siskind, D.E., 2000, Vibrations From Blasting, International Society of Explosives Engineers, pp. 120.
- UNI (1990) Norma UNI 9614:1990 - Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo.
- UNI (2017) Norma UNI 9614:2017 - Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo.
- UNI (2004) Norma UNI 9916:2004 - Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.

Allegato: Report: Monitoraggio Vibrazionale e Fonometrico prodotta per i progetti di Villesse e Vipacco (2011).

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia	SPC. LA-E- 80350		
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia	Fg. 1 di 201	Rev. 0	

Metanodotto Villesse-Gorizia
DN 1050 (42"), P 75 bar

Attraversamento Autostrada A4 Mestre-Trieste e fiume Vipacco

MONITORAGGIO VIBRAZIONALE E FONOMETRICO

Monitoraggio dinamico mediante sensori velocimetrici e rilievi fonometrici
 durante la trivellazione di due microtunnel

0	Emissione	SOLGEO	Pace	Maceratesi	Nov.. '11
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 2 di 201	Rev. 0

INDICE

1	PREMESSA	5
1.1	Descrizione sintetica del progetto di monitoraggio dinamico	5
1.2	Descrizione sintetica del progetto di monitoraggio acustico	6
1.3	Struttura della relazione	7
2	MONITORAGGIO DINAMICO	9
2.1	Premessa	9
2.2	Scopi e schema operativo del monitoraggio	9
2.3	Descrizione delle attività di monitoraggio	10
2.3.1	Concetti generali sulla strumentazione	10
2.3.2	Strumentazione impiegata	11
2.3.3	Descrizione delle modalità operative	13
2.3.4	Ubicazione dei punti di acquisizione	15
2.3.5	Acquisizione ed elaborazione dei dati velocimetrici	16
2.3.6	Elaborazione dei dati velocimetrici in termini di attenuazione	16
2.4	Risultati del monitoraggio dinamico	18
2.4.1	Organizzazione degli allegati grafici	18
2.4.2	Lettura e interpretazione dei dati velocimetrici acquisiti	20
2.5	Coefficienti di attenuazione calcolati per i due siti monitorati	34
2.5.1	Richiamo concettuale al coefficiente di attenuazione	35
2.5.2	Coefficienti di attenuazione per il sito di Villesse	36
2.5.3	Coefficienti di attenuazione per il sito di Vipacco	36
2.6	Elaborazioni grafiche esplicative dei fenomeni di smorzamento rilevati	36
2.7	Applicazione dei coefficienti di attenuazione alle normativa UNI 9916:2004	39
2.8	Modello sismo-stratigrafico e valutazione delle possibilità di estendere i risultati dello studio a situazioni stratigrafiche analoghe	43
2.9	Conclusioni	44
3	COEFFICIENTI DI ATTENUAZIONE NEL SITO “VILLESSE”	47
3.1	Introduzione	47

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 3 di 201	Rev. 0

3.2	Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del pozzo di spinta – geofono G1	47
3.3	Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM nell'area compresa fra i geofoni G2 e G3	53
3.4	Valutazione dell'attenuazione nell'area compresa fra G6 e G7 durante l'avvicinamento della TBM a G6	61
3.5	Valutazione dell'attenuazione lungo i conci di calcestruzzo durante l'avvicinamento della TBM a G6	71
3.6	Valutazione dell'attenuazione nell'area compresa fra G6 e G7 durante l'allontanamento della TBM da G6	76
3.7	Valutazione dell'attenuazione lungo i conci di calcestruzzo durante l'allontanamento della TBM da G6	86
3.8	Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del sensore G8	92
3.9	Conclusioni	102
4	COEFFICIENTI DI ATTENUAZIONE NEL SITO VIPACCO	104
4.1	Introduzione	104
4.2	Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del pozzo di spinta – geofono G1	105
4.3	Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del sensore G2	111
4.4	Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del sensore G4	121
4.5	Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del sensore G6	131
4.6	Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del sensore G8	141
4.7	Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del sensore G10	151
4.8	Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del sensore G12	162
4.9	Conclusioni	172
5	MONITORAGGIO FONOMETRICO	174
5.1	Introduzione	174
5.1.1	Premessa e scopi del rilievo fonometrico	174
5.2	Descrizione del monitoraggio eseguito	174
5.2.1	Descrizione delle modalità operative	174

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 4 di 201	Rev. 0

5.2.2	Ubicazione dei punti di acquisizione	175
5.2.3	Strumentazione impiegata	177
5.2.4	Descrizione dei parametri di acquisizione	177
5.3	Risultati del monitoraggio fonometrico	180
5.3.1	Villesse: analisi spettrale e livelli acustici registrati	180
5.3.2	Vipacco: analisi spettrale e livelli acustici registrati	184
5.4	Correlazione dei dati del rilievo acustico con quelli vibrometrici.	185
5.5	Conclusioni	186

Elenco dei disegni e delle tavole allegate

ALLEGATO A:

LC-11E-81115 Attraversamento Autostrada A4 Mestre –Trieste (presso Villesse)

Tavola 00:

PG-01 Planimetria generale delle indagini eseguite presso il cantiere di Villesse 1:500

Tavole da 01 a 16:

MN-01_vil Monitoraggio velocimetrico presso il cantiere di Villesse (V1, V2, V3, V4 e V5) scala grafica

Tavole da 17 a 26:

MN-02_vil Monitoraggio velocimetrico presso il cantiere di Villesse (V6, V7, V8 e V9) scala grafica

ALLEGATO B:

LC-11E-81134 Attraversamento del fiume Vipacco e SP n.8

Tavola 00:

PG-02 Planimetria generale delle indagini eseguite presso il cantiere di Vipacco 1:1,250

Tavole da 01 a 13:

MN-03_vip Monitoraggio velocimetrico presso il cantiere di Vipacco scala grafica

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 5 di 201	Rev. 0

1 PREMESSA

Le tecnologie trenchless sono sempre più diffuse nella realizzazione delle strutture di trasporto gas perché permettono di evitare interferenze dirette con le strutture, i servizi o con le aree di pregio ambientale presenti in superficie. Non sempre le amministrazioni e la popolazione locale comprendono le caratteristiche della tecnologia e talvolta sorgono difficoltà autorizzative o di rapporti con gli abitanti delle zone prossime ai lavori. A questo si aggiunge che non è ancora stata sviluppata una specifica bibliografia che descriva le caratteristiche delle vibrazioni indotte nei terreni durante tali attività di perforazione, come queste si propaghino nelle zone circostanti ed in che modo possano eventualmente interferire con le strutture presenti nelle vicinanze.

Per tale motivo SNAM Rete Gas ha commissionato a SAIPEM il monitoraggio dei cantieri di due microtunnel la cui realizzazione era prevista nell'ambito del progetto denominato "Metanodotto Villesse-Gorizia DN 1050 (42")" che si sviluppa in aree molto antropizzate nelle quali potrebbero potenzialmente insorgere contestazioni legate alle vibrazioni trasmesse dal terreno o ai rumori ambientali, non necessariamente basate su motivazioni concrete.

A scopo precauzionale e per costituire le basi di una case history utilizzabile anche altrove sono state sottoposte a monitoraggio vibrazionale e fonometrico le attività nei seguenti due cantieri:

- il microtunnel, lungo 122 metri, che attraversa il tratto autostradale Mestre-Trieste (A4) nei pressi del Casello di Villesse;
- il microtunnel, lungo 345 metri, che attraversa il fiume Vipacco.

Entrambi i progetti sono stati realizzati con conci in cemento armato del diametro di 1.6 metri ed hanno attraversato terreni di natura alluvionale granulometricamente costituiti da sabbie e ghiaie.

Il minitunnel di Villesse si sviluppa su un profilo quasi rettilineo leggermente inclinato tra le profondità di circa 6 m verso la buca di spinta e di circa 4.5 m sul lato della buca di recupero. Sotto il rilevato autostradale le coperture sono nell'ordine di 7-8 m.

Il minitunnel di Vipacco si sviluppa su un profilo curvilineo tra le profondità di circa 6 m verso la buca di spinta e di circa 5 m sul lato della buca di recupero. Sotto l'alveo fluviale le coperture sono nell'ordine di 6-7.5 m, ma il punto di massima profondità, a circa 15 m dal p.c., viene raggiunto nella parte centrale del profilo dopo l'attraversamento. In questo tratto il substrato roccioso si trova a circa 20m di profondità.

In allegato si forniscono i profili di progetto di entrambi gli attraversamenti:

Per la realizzazione del progetto di monitoraggio Saipem si è avvalsa della collaborazione tecnica della ditta SOLGEO produttrice della strumentazione utilizzata e del Politecnico di Milano per la definizione di un modello fisico matematico con cui trattare i dati.

1.1 Descrizione sintetica del progetto di monitoraggio dinamico

In ciascun cantiere il monitoraggio vibrazionale ha coperto tutte le fasi della realizzazione del minitunnel a partire dalla costruzione della buca di spinta.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 6 di 201	Rev. 0

Per ciascun cantiere sono stati usati contemporaneamente 5 velocimetri dei quali uno vicino alla buca di spinta (o di arrivo) e 2 coppie mobili dei quali il primo è posto in asse alla perforazione e l'altro ad una distanza di circa 20 m o 30 m. Le coppie mobili sono state spostate progressivamente seguendo l'avanzamento della perforazione.

I dati raccolti sono stati analizzati e valutati nel loro complesso ma lo studio è stato focalizzato sui fenomeni di propagazione ed attenuazione delle vibrazioni prodotte durante l'avanzamento della perforazione.

Per ipotizzare un modello generalizzabile si è valutato che le caratteristiche d'onda delle vibrazioni indotte dalla perforazione dipendono prevalentemente dalla natura dei terreni. La tipologia della testa fresante e le modalità operative del perforatore, sono ulteriori fattori di variabilità, ma sono stati considerati meno significativi in quanto anch'essi dipendono dalle caratteristiche meccaniche del materiale che deve essere attraversato.

Le altre attività di cantiere connesse con la trivellazione potrebbero essere studiate ciascuna con i medesimi sistemi, ma l'elaborazione di un modello sarebbe poco significativo in quanto in siti differenti non solo variano i terreni ma anche le scelte progettuali, la logistica e l'operatività del cantiere. Per esempio variano la tipologia e geometria della buca di spinta, la forma planimetrica del cantiere e la posizione relativa dei macchinari maggiormente vibranti, le attività variamente concomitanti di trasporto, stoccaggio e spostamento dei conci, e la presenza di diverse tipologie di mezzi di cantiere a vario titolo operanti. Spesso, inoltre, molte di tali attività si svolgono contemporaneamente e provocano vibrazioni che si sommano o interferiscono tra loro in ampiezza e frequenza rendendo difficile l'elaborazione di un modello descrittivo.

A partire dai dati di velocità delle vibrazioni trasmesse dal terreno, rilevati durante l'avanzamento della testa fresante in asse alla perforazione e ad una distanza nota, è stato costruito un modello teorico e da questo una legge di attenuazione che permette di valutare quanto la distanza dalla sorgente (testa fresante) influenzi l'ampiezza della vibrazione registrabile presso eventuali ricettori sensibili posti nelle vicinanze del cantiere.

A rigore di metodo la legge trovata è valida solo per le specifiche situazioni esaminate tuttavia, avendo studiato terreni di natura ghiaioso-sabbiosa caratterizzati da moduli elastici tra i più elevati nel campo dei depositi alluvionali, è possibile estendere i risultati ottenuti ad altre situazioni stratigrafiche in cui siano interessati depositi alluvionali di alcune decine di metri di spessore ed in cui la granulometria e l'addensamento siano analoghi o minori. E' possibile estendere il risultato anche a depositi argillosi, purché non siano eccessivamente sovraconsolidati. Depositati alluvionali rispondenti a tali condizioni si rinvengono estesamente, per esempio, nella maggior parte della Pianura Padano-Veneta, e caratterizzano le zone di media e bassa pianura.

1.2 Descrizione sintetica del progetto di monitoraggio acustico

Il monitoraggio delle vibrazioni trasmesse dal suolo è stato integrato con alcuni rilievi fonometrici volti a monitorare le vibrazioni trasmesse dall'atmosfera nel campo di frequenze percepibili dall'udito umano, ossia del rumore provocato dalle attività in corso. In questo caso però le possibilità d'interferenza connesse alle specifiche situazioni locali ed al momento in cui è stato fatto il rilievo non consentono di ipotizzare

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 7 di 201	Rev. 0

un modello generalizzante. Tra i fattori di potenziale interferenza, incontrollabili dallo sperimentatore, si citano le condizioni meteorologiche ed in particolare la direzione e l'intensità del vento, ma anche la morfologia naturale del sito, la presenza di vegetazione e/o di strutture situate tra la sorgente ed il ricettore o di elementi naturali e/o antropici che fungano da riflettore, ed infine la possibile presenza di emissioni sonore connesse ad attività antropiche e/o naturali situate nelle aree adiacenti.

1.3 Struttura della relazione

La presente relazione è stata strutturata per consentire una più facile consultazione del lavoro:

nella prima parte (cap 2) si riferisce sulle attività del monitoraggio dinamico e sui risultati ottenuti; nella seconda parte (cap 3 e cap 4) si approfondiscono le tematiche relative al calcolo dei coefficienti di attenuazione delle vibrazioni registrate durante il monitoraggio dinamico; nella terza parte (cap 5) si riferisce sulle attività del monitoraggio fonometrico e sui risultati ottenuti.

Gli allegati relativi al monitoraggio dinamico sono raggruppati in sequenza per ciascun cantiere:

In ciascuno degli allagati sono forniti:

- il profilo di progetto:
 - Allegato A - LC-11E-81115 per l'autostrada A4 presso Villesse
 - Allegato B - LC-11E-81134 per il fiume Vipacco
- le planimetrie con l'ubicazione dei punti di monitoraggio nel contesto del progetto di attraversamento:
 - Allegato A – Tav 00: PG-01: Planimetria generale delle indagini eseguite presso il cantiere di Villesse in scala 1:500
 - Allegato B - Tav 00: PG-02: Planimetria generale delle indagini eseguite presso il cantiere di Vipacco in scala 1:1,250

Le tavole successive per ogni allegato forniscono una visualizzazione grafica degli eventi vibrazionali registrati tramite i trasduttori velocimetrici durante le varie giornate di monitoraggio:

- Allegato A -Tavole da 01 a 16:
MN-01_vil: Monitoraggio velocimetrico presso il cantiere di Villesse (V1, V2, V3, V4 e V5) in scala grafica;
- Allegato A -Tavole da 17 a 26:
MN-02_vil: Monitoraggio velocimetrico presso il cantiere di Villesse (V6, V7, V8 e V9) in scala grafica
- Allegato B -Tavole da 01 a 13:
MN-03_vip: Monitoraggio velocimetrico presso il cantiere di Vipacco in scala grafica.

Le spiegazioni sulla struttura e la lettura delle tavole sono fornite al paragrafo 2.4.1.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 8 di 201	Rev. 0

PARTE PRIMA

ATTIVITA' DI MONITORAGGIO E RISULTATI



 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 9 di 201	Rev. 0

2 MONITORAGGIO DINAMICO

2.1 Premessa

In questa parte della relazione tecnica si descrivono le attività di monitoraggio, si riportano e si analizzano i risultati delle misurazioni eseguite.
Le attività sono state svolte:

- presso il cantiere del microtunnel al che attraversa il tratto autostradale Mestre-Trieste, nel periodo tra il 3 maggio 2010 e il 17 maggio 2010;
- presso il cantiere del microtunnel con il quale il metanodotto attraversa l'alveo del fiume Vipacco, nel periodo tra il 15 giugno 2010 e il 29 Luglio 2010.

Nei paragrafi seguenti sono descritte le caratteristiche della strumentazione impiegata, le modalità di acquisizione ed elaborazione dei dati acquisiti ed infine i risultati finali del processing svolto.

2.2 Scopi e schema operativo del monitoraggio

Non esistendo studi specifici precedenti riguardanti le vibrazioni prodotte durante la realizzazione di microtunnel di dimensioni compatibili con quelle in uso nella realizzazione di metanodotti di grande diametro, il presente lavoro è stato finalizzato ad acquisire dati durante tutte le fasi della perforazione, per quantizzare la reale entità delle vibrazioni prodotte in ogni fase, studiare come queste si propaghino nel terreno circostante e come questo possa ridurre la quantità energia che viene trasmessa in funzione della distanza dalla sorgente della vibrazione.

Lo scopo finale è di poter valutare se la realizzazione di un minitunnel in prossimità di edifici possa in qualche modo danneggiarli e quale dovrebbe essere la distanza di sicurezza da mantenere affinché non sussista alcun rischio.

La norma UNI 9916:2004 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici" costituisce il riferimento normativo più comunemente usato per valutare gli effetti delle vibrazioni sismiche sugli edifici e recepisce le indicazioni delle norme DIN 4150 e BS 7385 facendo riferimento alle medesime classi tipologiche di edificio per fornire il valore limite della velocità di vibrazione che può essere tollerato dalle normali costruzioni senza ricevere danni dall'azione delle vibrazioni transitorie e/o permanenti.

Per poter calcolare la velocità di propagazione delle vibrazioni nel terreno è necessario disporre di un (t_0) istante di inizio della vibrazione presso la sorgente e di sensori posti a distanze note in grado di registrarne il passaggio.

Poiché nei casi in esame la sorgente delle vibrazioni è la testa fresante che avanza nel terreno a profondità variabile, difficilmente accessibile senza interferire con i lavori in corso, si è scelto di rilevare la vibrazione iniziale ubicando dei sensori in superficie, lungo l'asse di perforazione ed altri a distanze note da questi. Consci che tale schema comporta alcune ipotesi semplificatrici e un certo grado di approssimazione si è installato anche un velocimetro sul calcestruzzo della buca di spinta per rilevare il segnale quanto più direttamente possibile grazie alla maggiore rigidità ed alla

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 10 di 201	Rev. 0

conseguente velocità di trasmissione delle vibrazioni, che può offrire il complesso buca-conci in calcestruzzo, rispetto a quella del terreno circostante.

I geofoni mobili sono stati progressivamente spostati per seguire sul terreno la testa fresante, compatibilmente con le difficoltà logistiche dei siti e le disponibilità del programma di monitoraggio.

2.3 Descrizione delle attività di monitoraggio

2.3.1 Concetti generali sulla strumentazione

La misura di grandezze fisiche quali accelerazioni, velocità o deformazioni in condizioni dinamiche, che l'esperienza quotidiana porta a definire col termine generico di "vibrazioni", richiede una elevata capacità di gestione del flusso dati, anche per periodi prolungati, e senza alterazioni sul segnale analogico trattato a causa disturbi di natura elettrica. Attualmente le prestazioni richieste sono ben supportate da acquisitori a canali separati (uno per ogni sensore), con risoluzioni prevalentemente a 24 bit.

La catena di misura dinamica si compone di:

- alcuni sensori, che possono essere accelerometri o velocimetri, meno spesso estensimetri, i quali rilevano e trasformano in un segnale elettrico analogico l'oscillazione meccanica a cui sono sottoposti, ciascuno solo per la grandezza fisica per la quale sono progettati, cioè rispettivamente l'accelerazione, la velocità e la deformazione (strani);
- un cavo per ogni sensore, a bassa impedenza ed efficacemente schermato, trasferisce il segnale all'acquisitore;
- l'acquisitore trasforma, tramite il suo convertitore A/D, i segnali analogici in segnali digitali che sono facilmente memorizzabili. La risoluzione della misura è data quindi dalla risoluzione del convertitore A/D. L'acquisitore è di tipo multicanale, in grado cioè di accettare contemporaneamente i segnali di più sensori.

La presenza dei cavi costituisce un limite alla distanza dei sensori dall'acquisitore e costringe ad utilizzare più acquisitori qualora si debbano monitorare contemporaneamente diversi ricettori quali, per esempio, l'area di cantiere e gli eventuali edifici limitrofi.

Per convertire il segnale da analogico a digitale (A/D) ai fini del monitoraggio di strutture civili non sono necessarie frequenze di campionamento particolarmente elevate poiché le oscillazioni caratteristiche presenti o indotte negli edifici sono ben al di sotto dei 150 Hz. In questi casi le frequenze di campionamento più comuni sono nell'ordine dei 500 s/s, idonee a coprire la banda di 0-250 Hz.

Altre caratteristiche strumentali utili sono quelle che facilitano l'analisi e la condivisione su più piattaforme dei dati acquisiti. Soprattutto quando il monitoraggio ha tra gli obiettivi anche quelli di controllo, durante le fasi di lavorazione, di parametri meccanici e di quelli legati alla sicurezza, può risultare opportuno avere nel sistema di monitoraggio funzionalità diverse. Ricadono in queste la possibilità di inserire soglie di allarme, di implementare trigger su grandezze monitorate in full-time, di eseguire in real-time operazioni di analisi dati quali integrazioni, medie, o specifiche routine di

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 11 di 201	Rev. 0

calcolo ed infine la possibilità di rendere subito disponibili i dati e le sue elaborazioni su piattaforme web o intranet.

2.3.2 Strumentazione impiegata

Poiché per effettuare il monitoraggio richiesto è necessario seguire l'avanzamento della fresa TBM si è reso necessario disporre di un sistema di monitoraggio dinamico mobile costituito da unità di acquisizione e sensori, che oltre ad avere idonee caratteristiche strumentali fossero di dimensioni tali da essere facili da spostare e da mimetizzare dovendo operare per parecchi giorni consecutivi in aree esterne al cantiere, in zone abitate ed in assenza di sorveglianza della strumentazione.

Per la misura delle sollecitazioni sono stati utilizzate dei sensori Veloget 3D (Fig. 2.1sx e 2.1dx) di produzione Solgeo. Questi sensori sono dei sismometri tridirezionali di classe I, conforme alle normative DIN 4150-3, DIN45669-1, UNI 9916 e UNI 9614.

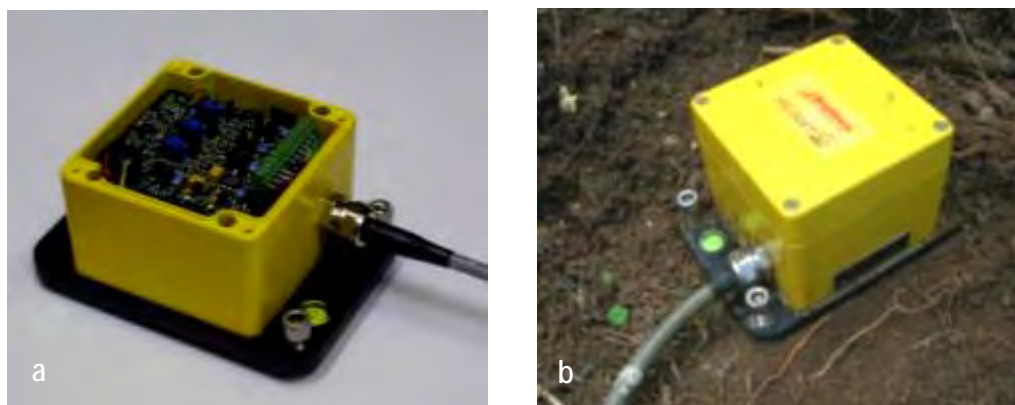


Figura 2.1: :*Sensori veloci metrici Veloget di fabbricazione Solgeo: in laboratorio(sx) e in opera sul campo (dx).*

Ogni sensore è costituito da una terna geofonica (2 orizzontali, asse X e Y, e uno verticale, asse Z) linearizzata elettronicamente, con dinamica superiore a 130dB, alloggiata in un contenitore metallico IP67, montata al di sopra di un supporto metallico dotato di piedini regolabili e bolla di controllo. Per le caratteristiche specifiche si rimanda alla visione della tabella 2.1.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 12 di 201	Rev. 0

Tab. 2.1: Caratteristiche dei sensori velocimetrici Veloget di fabbricazione Solgeo.

Tipo	Solgeo VELOGET
Componenti	3 – Assi X,Y,Z
Numero di serie	
Trasduttori	Geofoni GS-11D con elettronica di equalizzazione
Fondo scala	12.5 mm/s – 125 mm/s
Dinamica	>130 dB
Costante di trasduzione	Selezionabile tra 40mV/m/s – 400 V/m/s
Frequency range (1)	1-80 Hz
Frequency Range (2)	1-315 Hz
Accuratezza	+/- 0.4 dB – Classe 1(DIN 45699-1)
Alimentazione	10-18 Vcc
Consumi	240 mW
Test interno	Impulsivo +/- 4.5mm/s – indipendente per ogni canale
Calibrazione	02/05/2009



Figura 2.2: Unità di acquisizione mobile installata presso la postazione di arrivo del microtunnel Vipacco

I trasduttori sono stati quindi collegati ad acquisitori sismici tipo MAS24 (Fig.2.2), di produzione Solgeo, in configurazione a 6 canali. L'acquisitore permette la registrazione continua del segnale con un campionamento fino a 500Hz, memorizzando il valore minimo e massimo ogni 60 secondi al fine di poter diagrammare l'andamento delle vibrazioni rilevate nell'arco delle varie giornate.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 13 di 201	Rev. 0

Le caratteristiche specifiche degli acquisitori sismici tipo MAS24 sono presentate nella seguente tabella 2.2.

Tab. 2.2: *Caratteristiche delle unità di acquisizione Mas24 di fabbricazione Solgeo.*

Tipo	Solgeo MAS24
Tipo convertitore	Convertitore 24 bit Sigma/Delta per ogni canale
Numero di serie	5109, 5140, 5143, 5144
Dinamica	>130dB
Numero di canali	6 canali. Ingressi differenziali protetti da sovratensione.
Fondo scala	Conversione:+- 16 Volt
Frequenza di conversione	500 Hz
Banda passante	205.9 Hz
Filtro Anti-Aliasing	Filtro digitale FIR .Attenuazione alla frequenza di Nyquist (1/2 frequenza di campionamento) di -130dB
Registrazione	Continua: eventi da 60 secondi
Temperatura funzionamento	Da -20 a 70 gradi centigradi
Alimentazione	Interna – Esterna 11-18 Vcc
Sistema di sincronismo	GPS interno/esterno
Collegamenti	Ethernet - GSM
Calibrazione	17/04/2009

Grazie alla sincronizzazione dell'acquisitore tramite sistema GPS, sincronizzato con l'orario di Greenwich, ogni evento registrato può essere datato con un errore massimo di circa 1 ms e correlato alle registrazioni effettuate presso le altre centraline.

2.3.3 Descrizione delle modalità operative

In entrambi i cantieri monitorati i sensori velocimetrici sono stati posizionati sul piano campagna secondo una maglia ortogonale di dimensioni note ed orientati in modo tale che l'asse Y fosse sempre parallelo alla direzione del tunnel. L'asse X rappresenta quindi la distanza dall'asse di perforazione cioè la direzione in cui è più interessante conoscere la capacità di smorzamento del terreno allo scopo di valutare quanta dell'energia prodotta possa raggiungere eventuali ricettori situati in prossimità dei lavori. Come criterio generale, e compatibilmente alle difficoltà logistiche incontrate, si sono posizionati sempre alcuni sensori sulla verticale del tunnel di perforazione e altri traslati lateralmente di circa 20 m dall'asse di perforazione come illustrato nelle due planimetrie generali allegate (PG-01 in scala 1:500 e PG-02 in scala 1:1250) e nelle figure 2.4 e 2.5, entrambe fuori scala.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 14 di 201	Rev. 0

I sensori sono stati progressivamente traslati seguendo l'avanzamento della testa fresante del microtunnel mantenendo la configurazione precedentemente esposta.

Il controllo sulla qualità dei dati acquisiti e sul corretto funzionamento della strumentazione in loco è stato effettuato grazie ad un sistema Modem presente all'interno di ogni unità Mas24; questa possibilità di controllo remoto della strumentazione ha anche consentito anche di scaricare progressivamente dati per minimizzare il rischio di perdita a causa di eventuali danneggiamenti della strumentazione.

I tecnici che hanno installato la strumentazione hanno seguito anche le fasi iniziali della perforazione di ciascun microtunnel per annotare gli orari e la tipologia delle diverse attività di cantiere nonché le fasi di funzionamento della perforatrice. In questo modo è stato possibile identificare in modo univoco quali tra i valori di oscillazione massimi registrati fossero relativi alla perforazione e quali fossero connessi alle macchine operanti all'interno dell'area di cantiere.

Una volta identificate le caratteristiche delle vibrazioni direttamente correlabili alla perforazione TBM i tecnici incaricati sono intervenuti con cadenza settimanale per effettuare gli spostamenti progressivi delle apparecchiature lasciate in registrazione e per svolgere i normali interventi di manutenzione e di verifica del corretto funzionamento della strumentazione.



Figura 2.3: Da sinistra in senso orario: a) un tecnico impegnato nel posizionamento del velocimetro V2 presso il cantiere di Vipacco. b) collegamento del computer e c) scarico dati dalla centrale di acquisizione MAS24

 snam rete gas	PROGETTISTA  saipem	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 16 di 201	Rev. 0

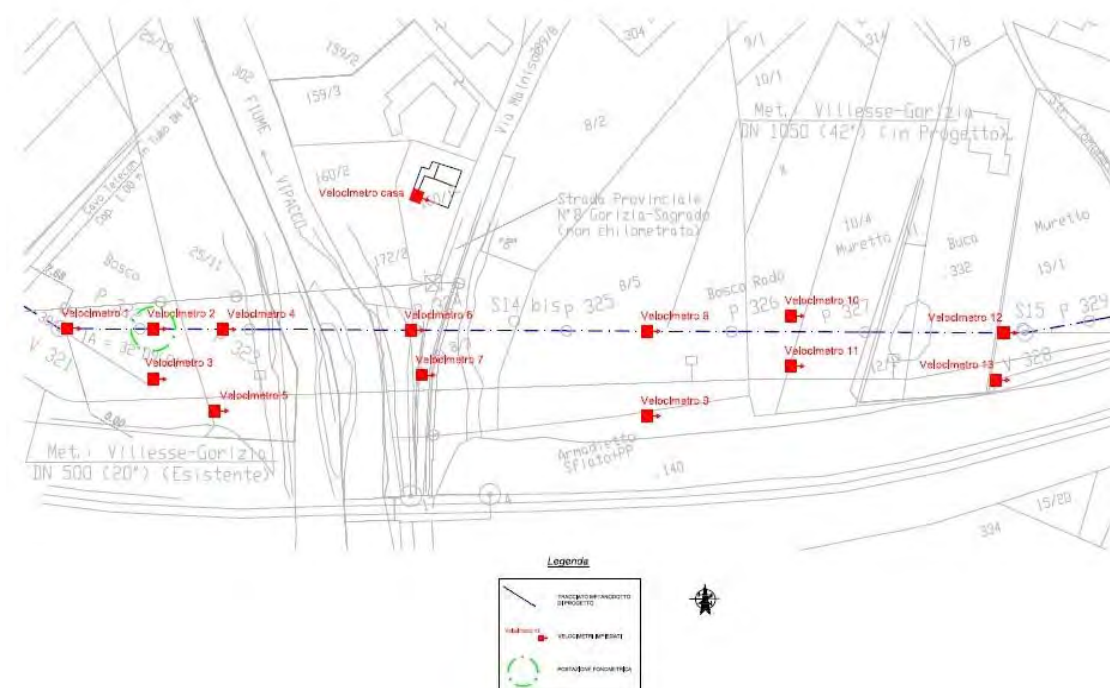


Figura 2.5: Planimetria dell'ubicazione dei velocimetri presso il cantiere di Vipacco(sopra)

2.3.5 Acquisizione ed elaborazione dei dati velocimetrici

I dati sono stati acquisiti con registrazione continua con un campionamento a 250 Hz. In una prima fase sono stati trattati per ottenere il valore di picco massimo e minimo di ciascun velocimetro, rilevato ogni 60 secondi per i 3 canali X, Y e Z. Questi valori sono stati rappresentati graficamente, per un singolo sensore o a coppie, nelle tavole fornite negli Allegati Grafici.

I grafici relativi al cantiere di Villesse riportano i dati a giornalieri, mentre quelli relativi al cantiere di Vipacco riassumono ciascuno una settimana di registrazione; tale scelta grafica è stata condizionata dalle durate dei lavori di perforazione su ciascun cantiere, molto diverse a causa della notevole differenza di lunghezza dei due minitunnel.

I segnali registrati sono stati analizzati sia in termini di ampiezza di oscillazione massima per ogni singola componente, sia in termini di analisi spettrale. La conoscenza di come l'energia trasmessa dal terreno sia distribuita nello spettro di frequenze che compongono il segnale registrato è fondamentale per l'applicazione della normativa vigente i cui valori di riferimento variano in funzione della frequenza.

2.3.6 Elaborazione dei dati velocimetrici in termini di attenuazione

Oltre all'elaborazione dei dati in termini di ampiezza massima e contenuto in frequenza è stata condotta anche un'analisi in termini di attenuazione delle ampiezze in funzione della distanza, per stimare i coefficienti di attenuazione relativa caratteristici del sito considerato, al fine di quantificare gli effetti vibrazionali della TBM in avanzamento, in un punto a distanza nota dalla stessa.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 17 di 201	Rev. 0

Nelle conclusioni del presente documento sono riportati i risultati dell'analisi dei segnali acquisiti dalla rete di velocimetri descritta nei precedenti paragrafi; I dati sono descritti più approfonditamente nei due report, presentati nei seguenti capitoli 3 e 4, denominati rispettivamente "Misure di attenuazione Microtunnel Villesse" e "Misure di attenuazione Microtunnel Vipacco". La rete di velocimetri è costituita, in ogni istante, da un geofono fisso, collocato sul pozzo di spinta (G1) e da altri quattro sensori mobili due dei quali sono posizionati in superficie lungo il tracciato della TBM. La profondità dello scavo è assunta costante e pari a 5 m. Durante tutta la durata della costruzione del metanodotto, i segnali velocimetrici acquisiti in modalità continua, sono stati correlati con le varie fasi di lavoro mediante il giornale di cantiere.

Operativamente si è partiti dai segnali acquisiti da un determinato velocimetro lungo l'arco di tutta una giornata e sono stati estratti i corrispondenti valori quadratici medi (RMS, RootMeanSquare)¹, calcolati su una finestra temporale di un minuto, per la componente longitudinale (ortogonale alla direzione del metanodotto in costruzione), per la componente trasversale (parallela alla direzione del metanodotto) e verticale.

Nella figura 2.6 viene riportato a titolo d'esempio l'analisi condotta sulla componente longitudinale del geofono G1 posizionato sul pozzo di spinta del cantiere di Villesse.

Il grafico superiore della figura mostra la variazione dei valori di RMS in funzione del tempo, su scala oraria; il grafico inferiore presenta l'andamento dei medesimi parametri rispetto alla posizione della testa della TBM, che ha generato il segnale, estratta dal giornale di cantiere.

In entrambi i grafici sono mostrati gli andamenti sia in scala lineare (linea nera, valori assoluti in mm/s) che in scala logaritmica (linea rossa, valori normalizzati rispetto al loro massimo, espressi in dB).

Le curve in nero mostrano come variano i valori RMS misurati dal geofono al di fuori delle attività di cantiere, durante le attività di cantiere e durante le fasi di spinta dei conci di calcestruzzo.

Le curve in rosso stimano l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e retro-propagata lungo il calcestruzzo verso il pozzo di spinta, assumendo una perfetta ripetibilità dell'onda indotta dalla TBM nel terreno.

¹ I valori quadratici medi RMS sono una misura statistica del contenuto energetico dell'onda sismica. Questa, infatti è composta dalla somma numerose onde sinusoidali diverse per ampiezza, frequenza e fase, ma tutte caratterizzate da valori simmetricamente oscillanti tra positivo e negativo su ogni ciclo. L'elevazione al quadrato dei valori campionati in un minuto rende il segnale tutto positivo, quindi, calcolando prima la media dei quadrati e poi la sua radice quadrata si trasforma il segnale sinusoidale in un onda quadra di area pari alla somma delle aree, positive e negative, del segnale iniziale. Ne consegue che LRMS calcolato ogni minuto rappresenta l'energia che è passata per il terreno sottostante il geofono durante quel minuto.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 18 di 201	Rev. 0

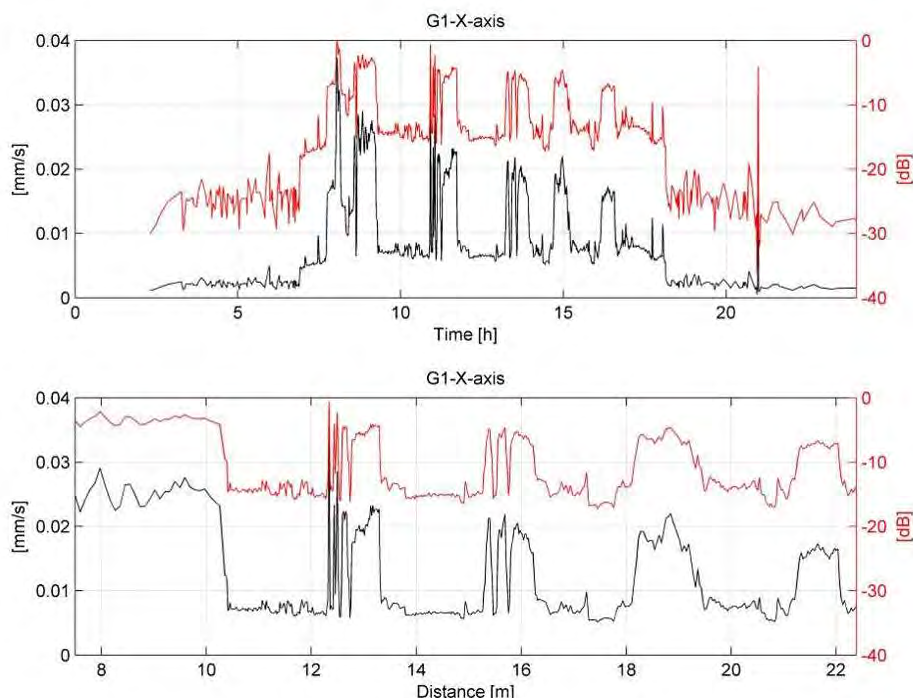


Figura 2.6: Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G1 nel cantiere di Villesse.

2.4 Risultati del monitoraggio dinamico

Il monitoraggio continuo di entrambi i lavori ha comportato l'acquisizione di una grossa mole di dati che risulta essere nell'ordine di 55 GB. Tali dati sono conservati nei server di Solgeo disponibili per eventuali verifiche o ulteriori usi futuri. Per rappresentare sinteticamente i dati registrati durante il monitoraggio sono state elaborate le tavole fornite negli Allegati Grafici.

2.4.1 Organizzazione degli allegati grafici

I risultati ottenuti durante il monitoraggio e rappresentati in tavole fornite negli Allegati Grafici sono organizzati in 2 sezioni:

1. Microtunnel Villesse, costituita da **27 tavole** così suddivise:

- Una planimetria generale (PG-01) di tutta l'area monitorata in cui vengono evidenziate le posizioni dei sensori impiegati, la postazione fonometrica ed il tracciato del microtunnel;
- Le tavole dalla 1 alla 16 corrispondono alle registrazioni giornaliere di singoli sensori o di coppie. Nei grafici sono riportati lungo l'asse Y i valori massimi in termini di velocità (mm/s) dei 3 canali, mentre lungo l'asse X l'orario corrispondente. Per mezzo di una banda colorata posta lungo l'asse temporale

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 19 di 201	Rev. 0

sono state poi evidenziate le diverse fasi di attività della TBM nel corso della giornata. Negli ingrandimenti di dettaglio invece sono riportate le posizioni reciproche dei sensori considerati.

2. Microtunnel Vipacco, costituita da **14 tavole** così suddivise:

- Una planimetria generale (PG-02) di tutta l'area monitorata in cui vengono evidenziate le posizioni dei sensori impiegati, la postazione fonometrica ed il tracciato del microtunnel;
- Le tavole dalla 1 alla 13 corrispondono alle registrazioni settimanali di singoli sensori o di coppie. Nei grafici sono riportati lungo l'asse Y i valori massimi in termini di velocità (mm/s) dei 3 canali, mentre lungo l'asse X l'orario corrispondente. Per mezzo di una banda colorata posta lungo l'asse temporale sono state poi evidenziate le diverse fasi di attività della TBM nel corso della giornata. Negli ingrandimenti di dettaglio invece sono riportate le posizioni reciproche dei sensori considerati.

Allo scopo di poter permettere di seguire l'evolversi del monitoraggio nel lungo arco temporale e dal contempo agevolare il confronto tra i dati delle varie centraline di volta in volta impiegate, le tavole in allegato si prestano ad una doppia lettura.

Nel cartiglio presente in ciascuna tavola in alto a destra si trova, infatti una numerazione progressiva riferita al numero della tavola corrente rispetto al numero delle tavole totale per ciascuno dei due cantieri. Seguendo un ordine progressivo si potranno quindi seguire le registrazioni effettuate dai diversi velocimetri in maniera cronologica.

Nella seguente immagine si può, infatti vedere come la tavola 2 di 26 è riferita al velocimetro 3, in data 4 maggio e la successiva tavola è riferita alle registrazione della coppia 4 e 5 nello stesso giorno.

In questo modo è possibile effettuare un primo confronto visivo tra le registrazioni durante la stessa giornata.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 20 di 201	Rev. 0

A lato di questa numerazione, viene poi riportata una simbologia costituita da un triangolo e un quadrato di diversi colori.

Ciascun colore è riferito a un particolare velocimetro o ad una coppia:

- il triangolo indica che seguono ulteriori registrazioni per i/il ricevitori/e considerati/o;
- Il quadratino identifica l'ultima tavola per i/il ricevitori/e considerati/o.

In questo modo è possibile seguire le registrazioni durante i diversi giorni per un singolo o una coppia di acquisitori impiegati.

Figura 2.7: Schema di lettura delle tavole fornite negli Allegati Grafici

Loc. VILLESSE		
Tav. MONITORAGGIO VIBRAZIONALE METANODOTTO SAIPEM – SNAMPROGETTI		
Data MARTEDÌ 04 MAGGIO 2010	Velocimetri V3	Scala GRAFICA
Finestra temporale 9:00 – 8:00	Rev.	Foglio 2/26

Velocimetro/i i cui dati sono rappresentati nel grafico

Indicatore progressivo di tavola su numero totale di tavole

Data del monitoraggio

Loc. VILLESSE		
Tav. MONITORAGGIO VIBRAZIONALE METANODOTTO SAIPEM – SNAMPROGETTI		
Data MARTEDÌ 04 MAGGIO 2010	Velocimetri V4 – V5	Scala GRAFICA
Finestra temporale 8:00 – 00:00	Rev.	Foglio 3/26

Colore che collega la sequenza di tavole riferite al velocimetro o alla coppia di velocimetri

Loc. VILLESSE		
Tav. MONITORAGGIO VIBRAZIONALE METANODOTTO SAIPEM – SNAMPROGETTI		
Data MERCOLEDÌ 05 MAGGIO 2010	Velocimetri V4 – V5	Scala GRAFICA
Finestra temporale 00:00 – 14:00	Rev.	Foglio 6/26

Termine della sequenza di tavole relative al velocimetro o alla coppia

2.4.2 Letture e interpretazione dei dati velocimetrici acquisiti

Per fornire una chiave di lettura con cui comprendere i dati proposti nel seguito si analizzano alcuni casi a titolo di esempio.

Per entrambi i cantieri sono esaminate le fasi iniziali della perforazione sia per evidenziare alcune discontinuità operative, sia perché l'analisi della fase iniziale della perforazione consente di minimizzare gli errori dovuti alla progressivamente meno certa posizione della fresa che genera le vibrazioni (agli orari riportati in ascissa, in quanto sincronizzati via GPS con l'ora di Greenwich, è generalmente necessario sommare un 1 ora per ottenere il corretto orario italiano in cui si sono effettuati i

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 21 di 201	Rev. 0

monitoraggi, o 2 ore qualora si lavori in periodi di ora legale come nel caso del presente studio).

In particolare sul cantiere di Villesse, l'analisi di questa fase permette anche di evidenziare la presenza delle vibrazioni indotte dal traffico autostradale e di paragonarle a quelle prodotte dalla perforazione.

Successivamente vengono anche analizzate degli esempi di registrazioni effettuate durante l'avanzamento regolare della fresa e di quelle effettuate presso una abitazione situata in relativa prossimità all' asse di perforazione.

Nei grafici i valori della componente longitudinale Y sono rappresentati in verde, quelli della componente trasversale X in nero e quelli della componente normale Z in viola.

2.4.2.1 Analisi dei dati rilevati nella fase iniziale dei lavori presso il cantiere di Villesse.

Nel grafico riportato in Fig.2.8 sono riportati i valori di picco delle velocità di spostamento² registrati dal sensore V1, collocato sul calcestruzzo della buca di spinta sulla verticale del microtunnel di Villesse.

Nel grafico in ascissa si sviluppa il tempo di registrazione ed in ordinata le velocità di spostamento registrate dal velocimetro.

L'estrema vicinanza del sensore alla postazione di spinta ha permesso di distinguere le diverse fasi di accensione e spegnimento della fresa e di "calibrare" la lettura dei valori registrati nelle diverse postazioni.

La posizione dello strumento a diretto contatto con il calcestruzzo ha consentito anche di ricevere la massima parte della vibrazione originata dall'attività della TBM e ricevere smorzate quelle originate dalle differenti attività del cantiere e dalla vicina autostrada mettendo in risalto le prime rispetto alle seconde.

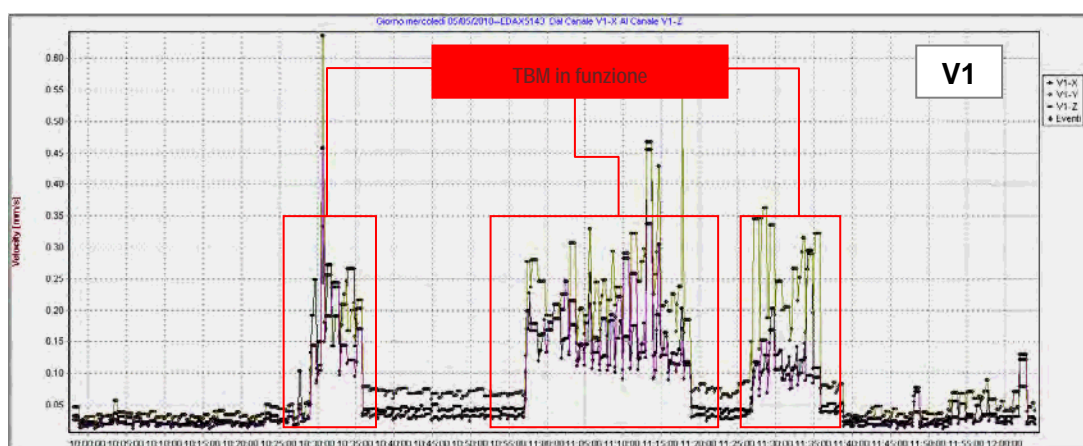


Figura 2.8: Picchi di vibrazione relativi al velocimetro V1 (anello in calcestruzzo sulla verticale della postazione di spinta)

Esaminando i dati relativi ai velocimetri V2 e V3 (Fig. 2.9), situati rispettivamente a 10 m da V1 lungo la direzione di perforazione ed a 32 m di distanza dall'asse di

² Il velocimetro rileva la velocità con cui si deforma elasticamente il terreno sottostante mentre trasmette l'energia proveniente dalla sorgente della vibrazione.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 22 di 201	Rev. 0

perforazione (Fig.2.4), si evidenziano ancora i medesimi eventi registrati da V1 correlabili con le stesse fasi di attività della TBM.

Nel grafico relativo al sensore V2 il gruppo di picchi che rappresenta tali fasi sono delineati più nitidamente rispetto a quelli evidenziati dal sensore V3; ciò dipende prevalentemente dal fatto che il velocimetro è situato più vicino alla perforazione rispetto al sensore V3, mentre entrambi sono alla medesima distanza dall'autostrada. Ne consegue che le vibrazioni provocate dal traffico arrivano ad entrambi con la stessa intensità, mentre quelle provenienti dalla fresa arrivano smorzate a V3 molto più che a V2.

Si evidenzia inoltre che il terreno superficiale su cui erano poggiati i sensori aveva differenti caratteristiche elastiche: il geofono V2, infatti, era poggiato sul terreno di riporto, grossolano e incoerente, con il quale era stato realizzato il piano per l'area di cantiere, mentre il geofono V3 poggiava sul terreno limoso argilloso dello strato pedogenizzato naturale, più omogeneo e soffice. Tali diversità granulometriche e di compattazione possono aver contribuito ad amplificare o smorzare il segnale registrato o a modificarne lo spettro di frequenza, creando un disturbo locale.

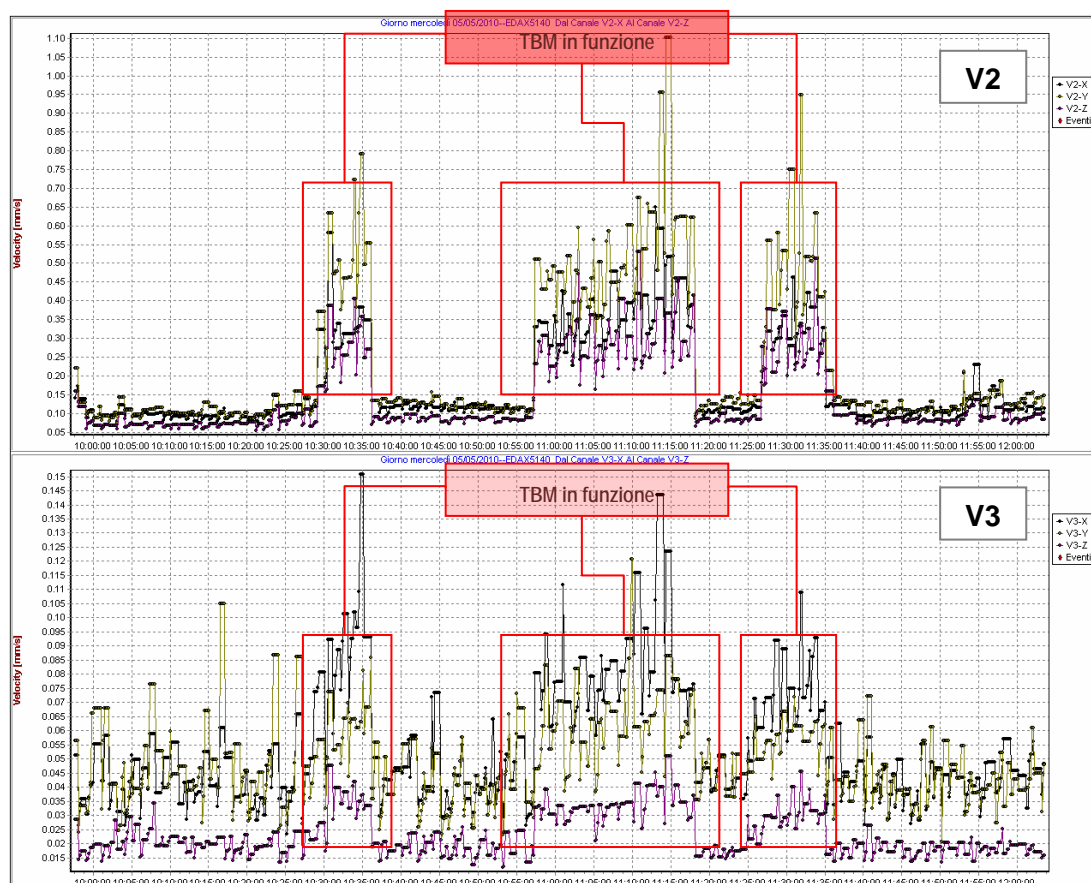


Figura 2.9: Picchi di vibrazione relativi al velocimetro V2 (in asse con il micro tunnel) e V3 (a circa 32 m dall'asse di perforazione). Si noti che la scala delle velocità è amplificata in V3

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 23 di 201	Rev. 0

I grafici relativi ai sensori V4 e V5 (Fig. 2.10), ubicati al piede del rilevato autostradale a causa della esiguità degli spazi disponibili per effettuare i monitoraggi, hanno registrato una serie casuale di picchi generati dal passaggio di veicoli sulla vicina sede stradale con ritmo continuo, ma irregolare. I picchi più alti sono imputabili al passaggio di automezzi pesanti che generano sollecitazioni con valori dell'ordine di 0.3-0.4 mm/s, paragonabili a quelli generati della TBM ed osservati in corrispondenza del geofono V1.

Poiché l'ampiezza delle vibrazioni provocate dal traffico veicolare è simile a quella delle vibrazioni provenienti dalla TBM, registrate nella situazione di minimo smorzamento, risulta comprensibile come queste ultime, attenuate in V4 e V5 in quanto registrate ad una maggiore distanza rispetto a V1, non emergano dal "rumore" del traffico.

In queste prime fasi di perforazione quindi, a ridosso della postazione di spinta, possiamo affermare che in questo sciame di dati non è possibile distinguere ancora le sollecitazioni della TBM.

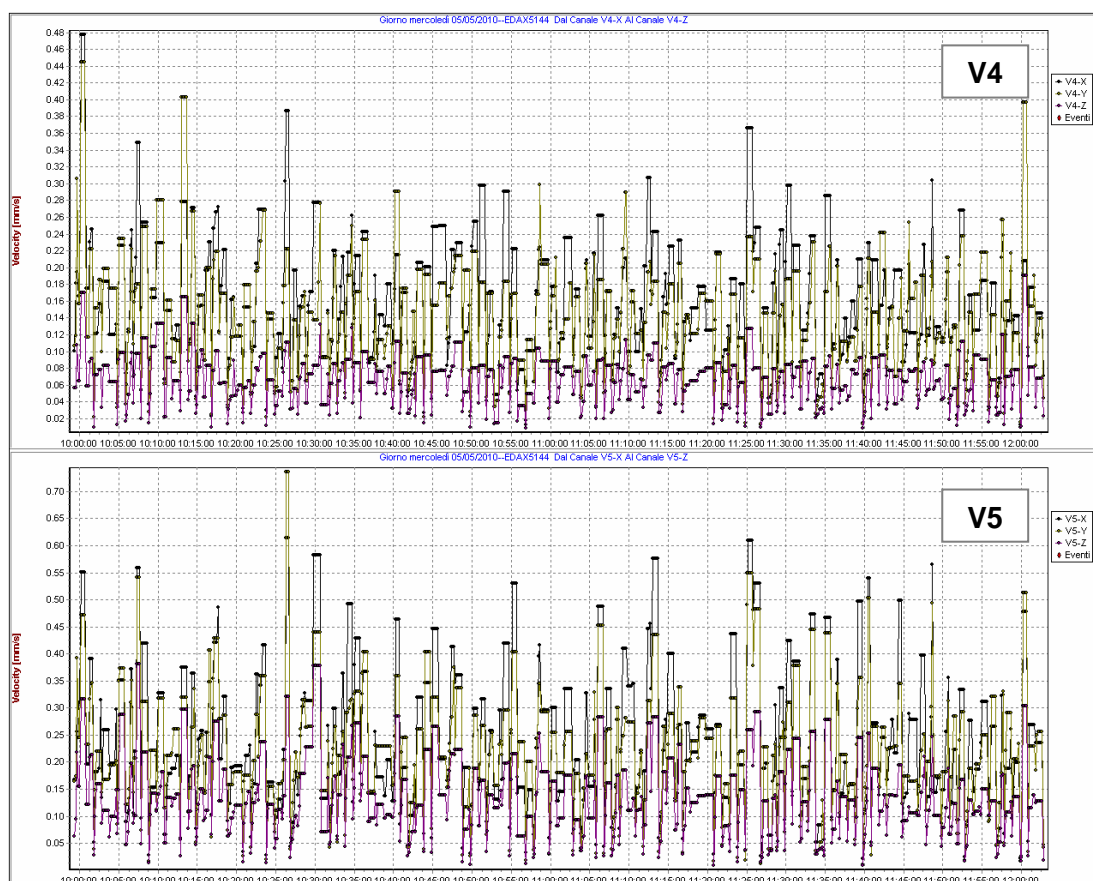


Figura 2.10: Picchi di vibrazione relativi al velocimetro V4 (in asse con il micro tunnel sul rilevato autostradale) in alto, e V5 (a circa 32 m dall'asse di perforazione sul rilevato autostradale) in basso.

Nelle seguenti figure 2.11, 2.12, 2.13 sono riportati i grafici dei singoli eventi, della durata di 60 secondi, per i sensori V1, V2 e V3 durante le prime fasi di perforazione

	PROGETTISTA 		COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 24 di 201	Rev. 0

nonché le relative analisi spettrali calcolate nelle finestre delimitate dai segmenti verdi e rossi. Ciò che si nota è una marcata somiglianza tra gli spettri dei sensori V1 e V2 nei quali si evidenzia un maggiore contributo delle alte frequenze rispetto allo spettro relativo al V3. Le alte frequenze, infatti sono più sensibili delle basse ai fenomeni di smorzamento durante la propagazione della vibrazione, e mentre la coppia V1 e V2 registra la vibrazione che si propaga nel calcestruzzo a breve distanza dalla sorgente, V3 registra un maggior contenuto di basse frequenze.

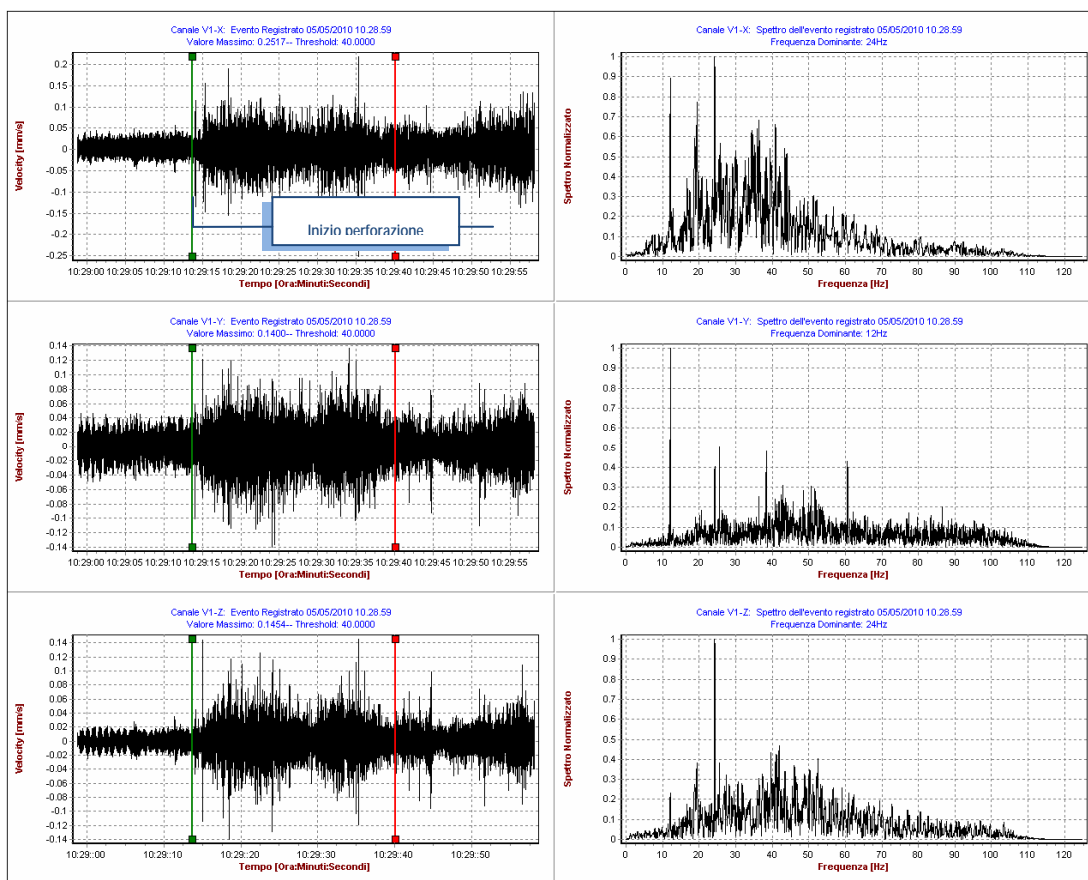


Figura 2.11: Velocimetro V1: visualizzazione di un singolo evento della durata di 60 secondi (a sinistra) per i 3 canali X, Y, Z e i relativi spettri di frequenza normalizzati (a destra)

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 25 di 201	Rev. 0

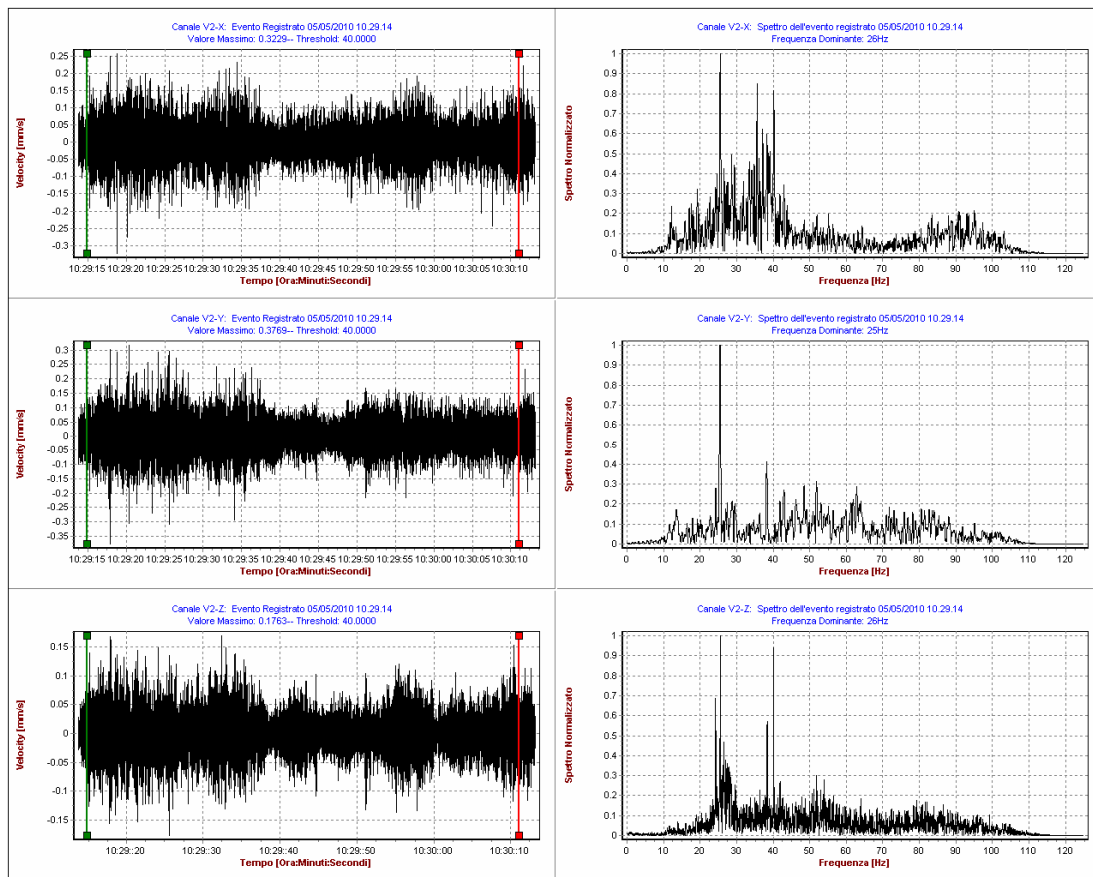


Figura 2.12: Velocimetro V2: visualizzazione di un singolo evento della durata di 60 secondi (a sinistra) per i 3 canali X, Y, Z e i relativi spettri di frequenza normalizzati (a destra)

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 26 di 201	Rev. 0

Il velocimetro V3 presenta una situazione intermedia tra la coppia V1-V2 e V3-V4. In questo caso, infatti, si osserva uno spettro più ampio rispetto ai primi due casi, con un contributo significativo anche in basse frequenze più simile ai sensori V4 e V5.

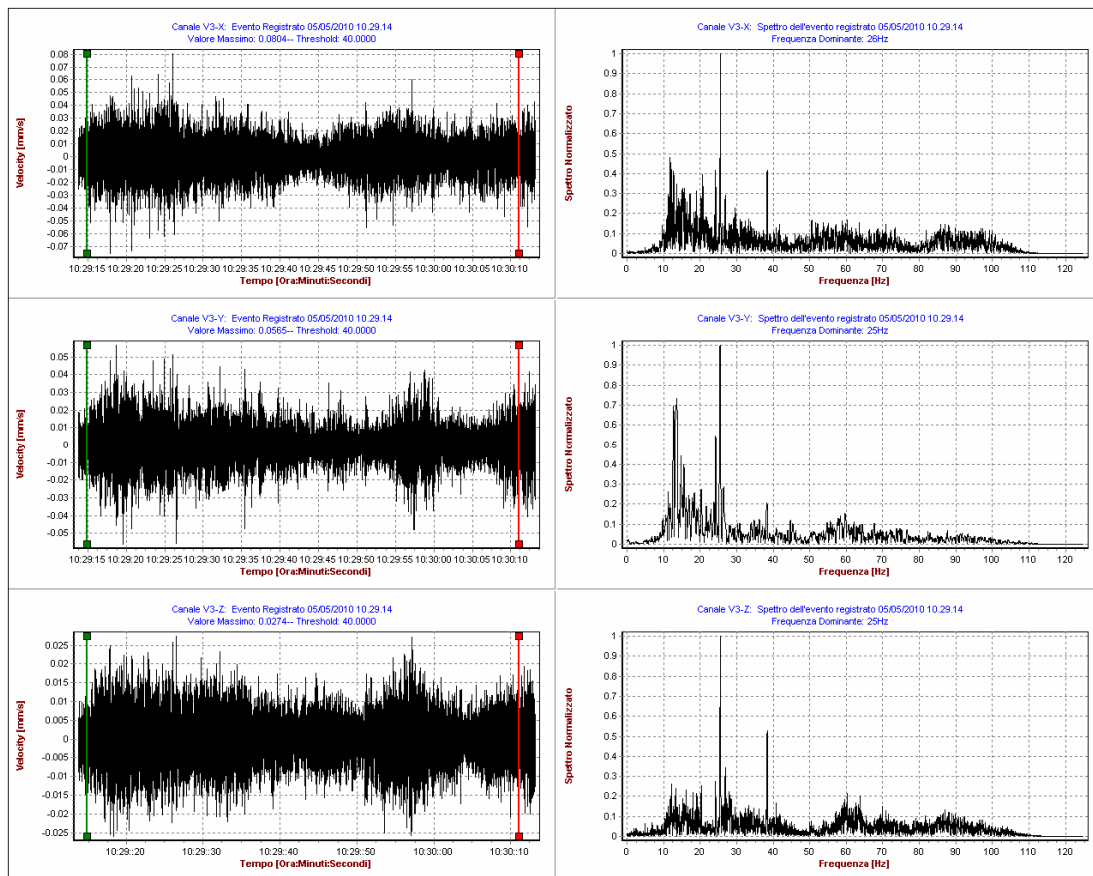


Figura 2.13: Velocimetro V3: visualizzazione di un singolo evento della durata di 60 secondi (a sinistra) per i 3 canali X, Y, Z e i relativi

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 27 di 201	Rev. 0

Nel grafico di figura 2.14 viene riportata la registrazione degli eventi relativa ai 2 sensori V4 e V5, posizionati al di fuori dell'area di cantiere presso il rilevato autostradale. In questa situazione i picchi che si possono osservare non sono da imputarsi all'azione della fresa, come già visto nei casi precedenti, bensì al passaggio delle autovetture che procedono sulla corsia Nord "intercettando" prima il velocimetro V4 al tempo (T_1) e solo qualche istante più tardi (T_2) il velocimetro V5, posto a Nord del precedente. Tale considerazione si desume dal confronto degli stessi picchi sul grafico di ciascun sensore, che appaiono traslati lungo l'asse dei tempi, come mostrato graficamente dalla linea rossa tratteggiata in figura.

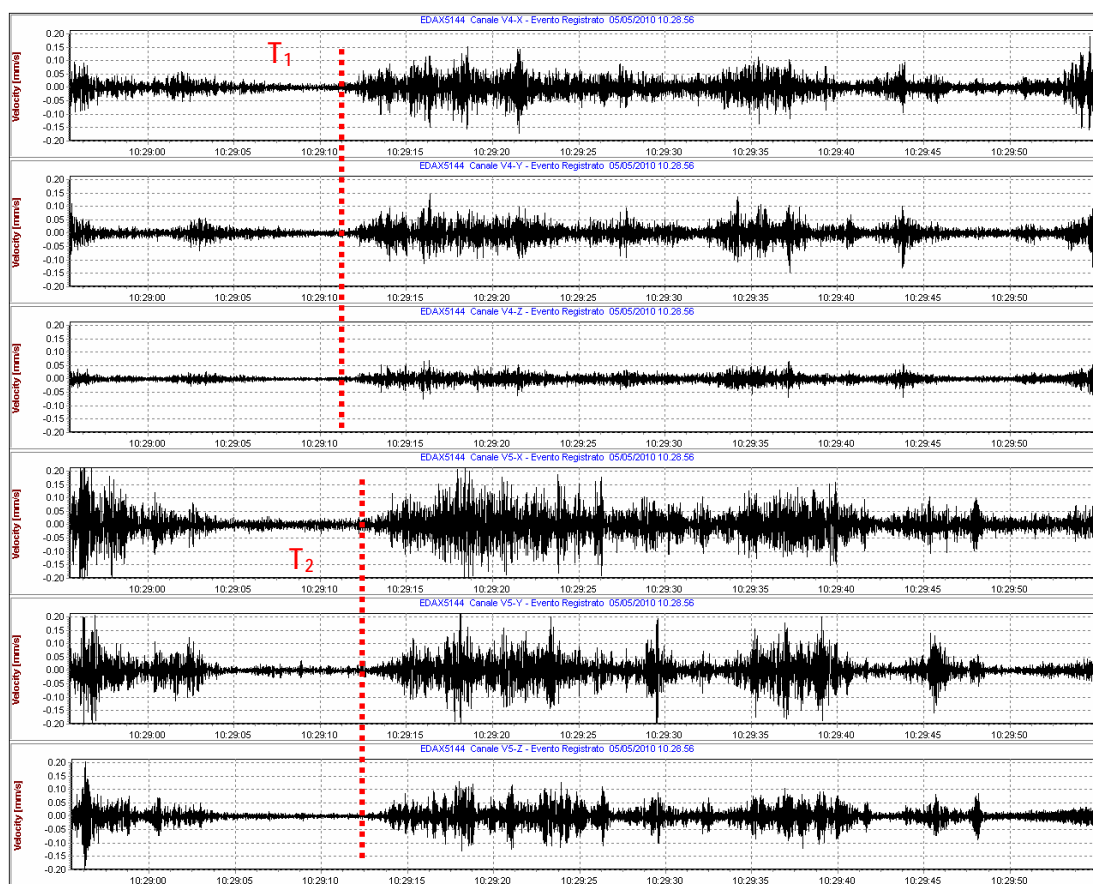


Figura 2.14: Velocimetro V4-V5: visualizzazione di un di un singolo evento della durata di 60 secondi (a sinistra) per i 3 canali X, Y, Z.

In questo caso l'inizio dell'attività di perforazione è nascosto o non ancora visibile a causa dell'andamento irregolare dei picchi, che non permette di identificare in modo univoco l'inizio dell'attività della TBM.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 28 di 201	Rev. 0

Nei grafici seguenti relativi ai sensori V4 e V5 l'analisi spettrale mostra un carattere impulsivo con un contenuto spettrale più ricco in basse frequenze, imputabile come si è detto in precedenza al traffico autostradale.

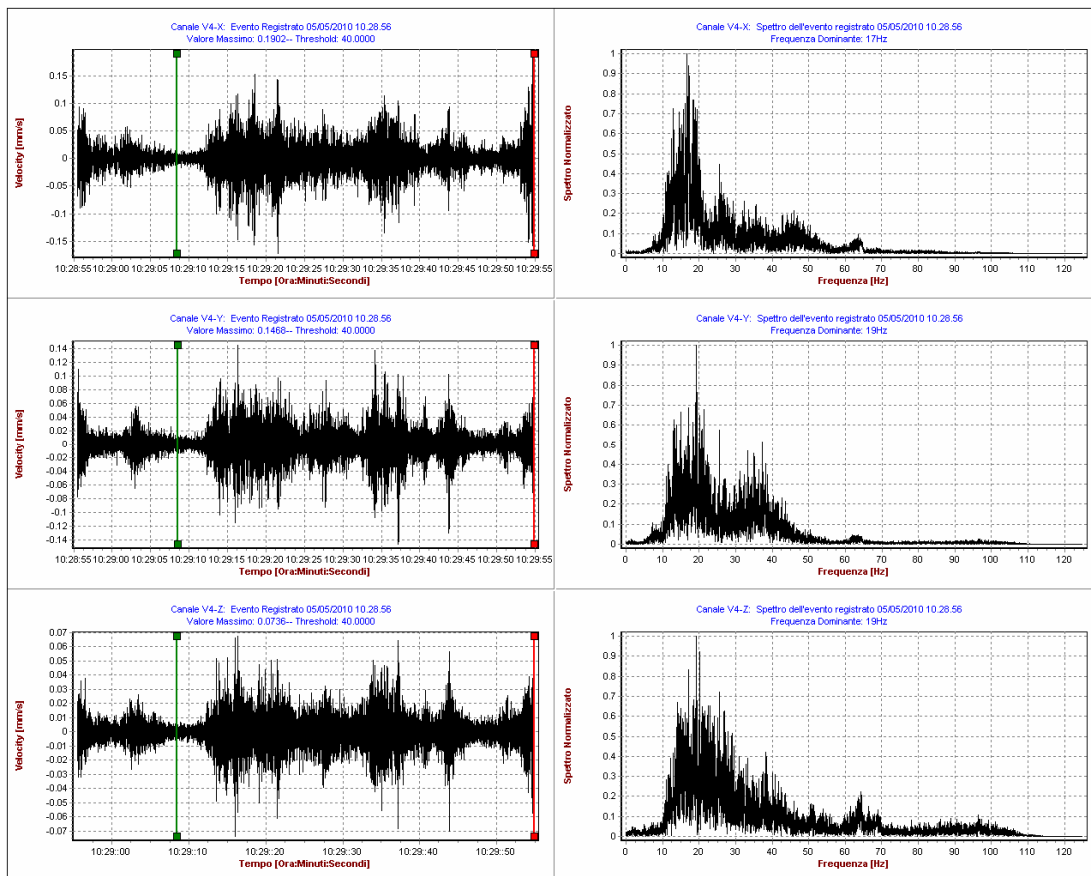


Figura 2.15: Velocimetro V4: visualizzazione di un singolo evento della durata di 60 secondi (a sinistra) per i 3 canali X, Y, Z e i relativi spettri di frequenza normalizzati (a destra)

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 29 di 201	Rev. 0

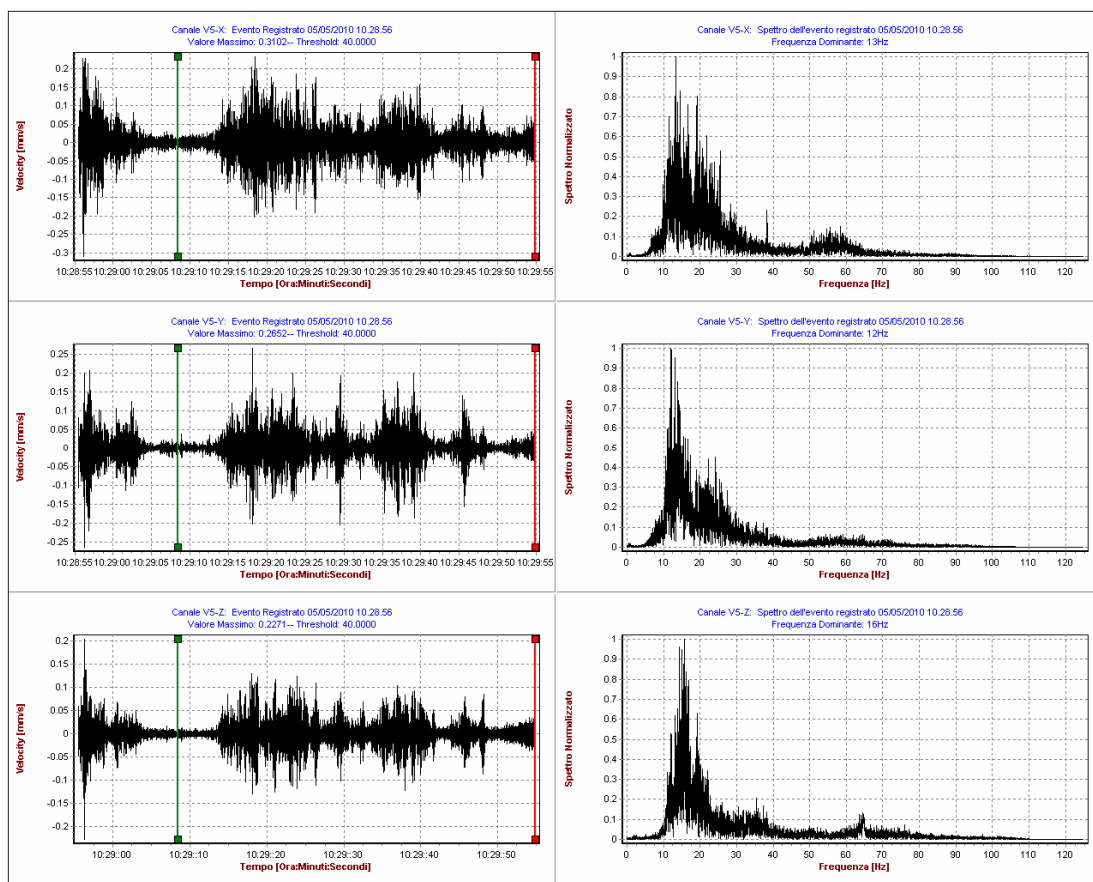


Figura 2.16 Velocimetro V5: visualizzazione di un singolo evento della durata di 60 secondi (a sinistra) per i 3 canali X, Y, Ze i relativi spettri di frequenza normalizzati (a destra)

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 30 di 201	Rev. 0

2.4.2.2 Analisi dei dati rilevati nella fase iniziale dei lavori presso il cantiere di Vipacco.

La seguente figura 2.17 mostra i picchi di vibrazione registrati in una giornata di monitoraggio presso il cantiere di Vipacco dal velocimetro V1 situato sulla verticale del tunnel di perforazione.

Si tratta della registrazione delle vibrazioni indotte dalla perforazione del diaframma in cemento della buca di spinta che, come si può notare dall'irregolarità dei picchi sono caratterizzate da fasi di perforazione discontinue.

Si osservano valori mediamente dell'ordine di 0.10-0.24 mm/s, leggermente inferiori ma in linea con quelli rilevati sul cantiere di Villesse.

Nella registrazione appaiono anche valori puntuali nettamente superiori, che si ritiene essere imputabili ad urti generati dalla attività di cantiere sulla buca di spinta o nei pressi del velocimetro e non all'azione della TBM che nelle altre misurazioni ha sempre avuto andamenti regolari.

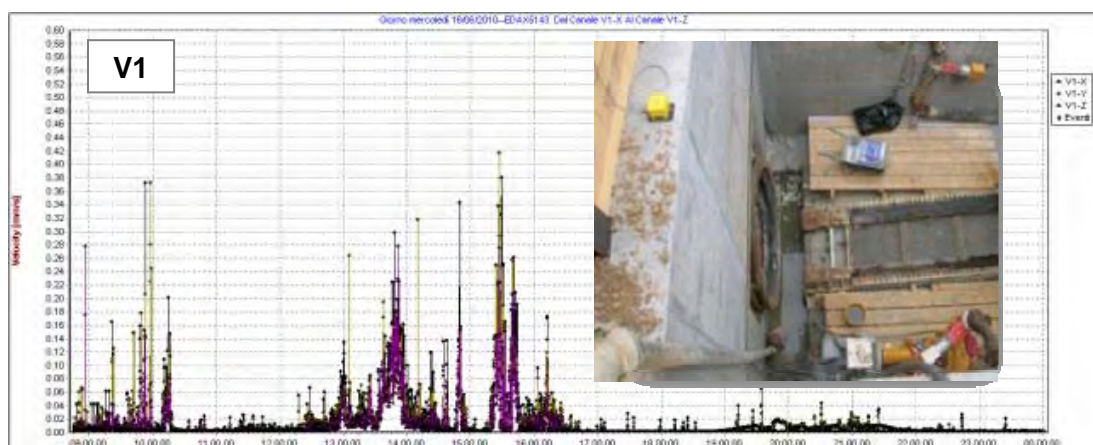


Figura 2.17: Picchi di vibrazione relativi al velocimetro V1 (nel riquadro), fissato all'armatura in calcestruzzo sulla verticale della postazione di spinta del microtunnel Vipacco

2.4.2.3 Analisi dei dati rilevati durante una fase di avanzamento regolare della fresa presso il cantiere di Vipacco

Le figure 2.18 e 2.19 costituiscono due esempi delle vibrazioni indotte dalla TBM nel terreno in condizioni di avanzamento regolare quando i terreni sono omogenei e la direzione è costante. I cinque evidenti gruppi di eventi caratterizzati da maggiori ampiezze corrispondono alle fasi di avanzamento dei conci, mentre i segnali irregolari di minore ampiezza che coprono tutto il resto della giornata di rilevamento rappresentano il rumore di fondo della zona e, in orario lavorativo, le varie attività di cantiere comprensive di quelle relative all'inserimento dei nuovi conci nella stazione di spinta.

Il grafico figura 2.18 mostra i rilevamenti effettuati in corrispondenza del picchetto di linea P324 presso il cantiere di Vipacco dove la perforazione procede orizzontale alla profondità di circa 17 m dal p.c., massima del progetto. I log dei sensori V6 e V7 registrati il 07 Luglio 2010, evidenziano il passaggio della fresa TBM rilevando valori di

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 31 di 201	Rev. 0

velocità relativamente elevati, nell'ordine di 2 mm/s, a testimoniare una situazione avanzamento a pieno regime della perforazione e condizioni litologiche favorevoli. Si evidenzia che i valori di picco maggiori sono stati registrati lungo l'asse longitudinale (in verde nel grafico), mentre la componente normale (in viola) presenta valori tendenzialmente più bassi.

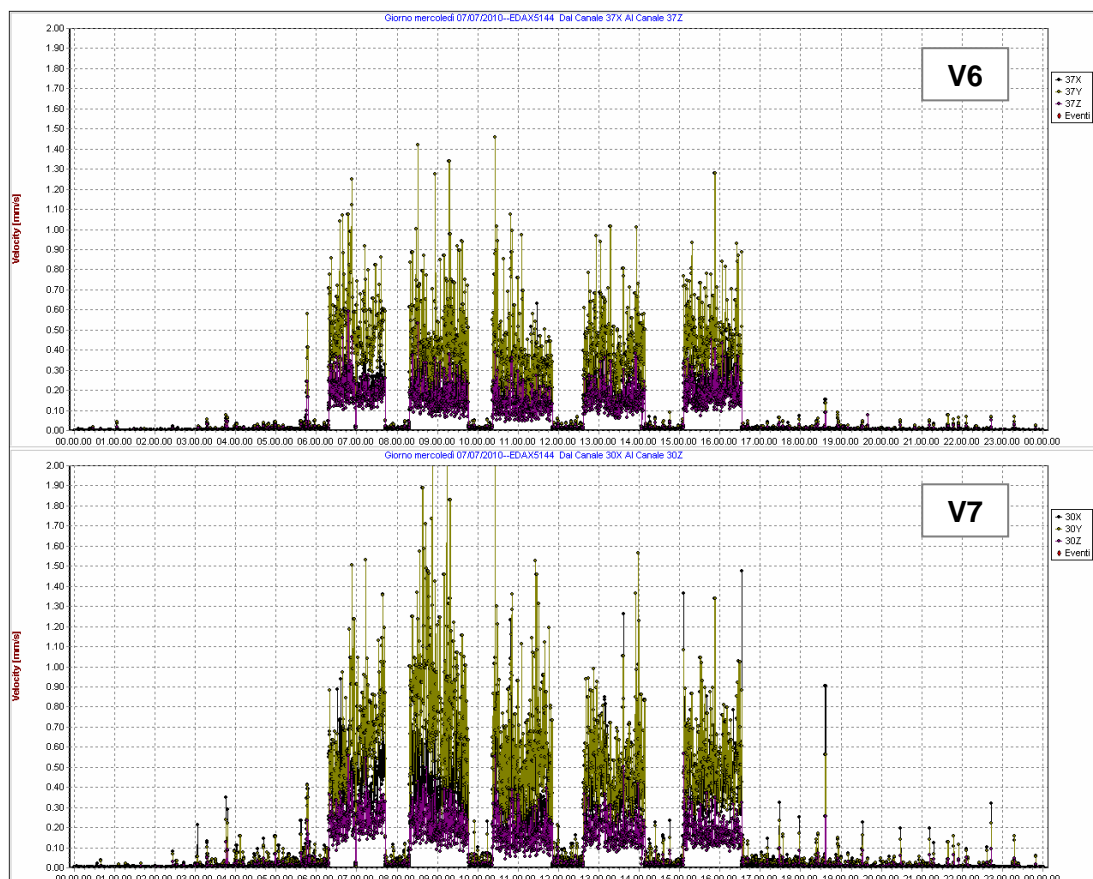


Figura 2.18: Vipacco: picchi di vibrazione relativi ai velocimetri V6 (in asse con il micro tunnel in corrispondenza del P324) in alto, e V7 (a circa 20m) in basso.

2.4.2.4 Analisi dei dati rilevati durante una fase di avanzamento regolare della fresa presso il cantiere di Villesse

Analoghe considerazioni possono essere fatte per la coppia di sensori (V6-V7) installati presso il cantiere di Villesse (figura 2.19) che hanno registrato le vibrazioni indotte dalla TBM che procede in rettilineo ad una velocità d'avanzamento relativamente costante; in questo caso la profondità di perforazione è di 4.70 m dal p.c..

Tali dati suffragano l'esistenza condizioni litologiche omogenee e la coerenza nell'acquisizione del dato.

Si evidenzia come a 32 m di distanza dall'asse di perforazione il rumore di fondo provocato dal traffico stradale ordinario abbia ampiezze dello stesso ordine di grandezza di quelle dei segnali provenienti dalla perforazione stessa. Il fenomeno dello

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 32 di 201	Rev. 0

smorzamento della vibrazione con la distanza dalla sorgente ad opera del terreno sarà chiarito nel paragrafo seguente.

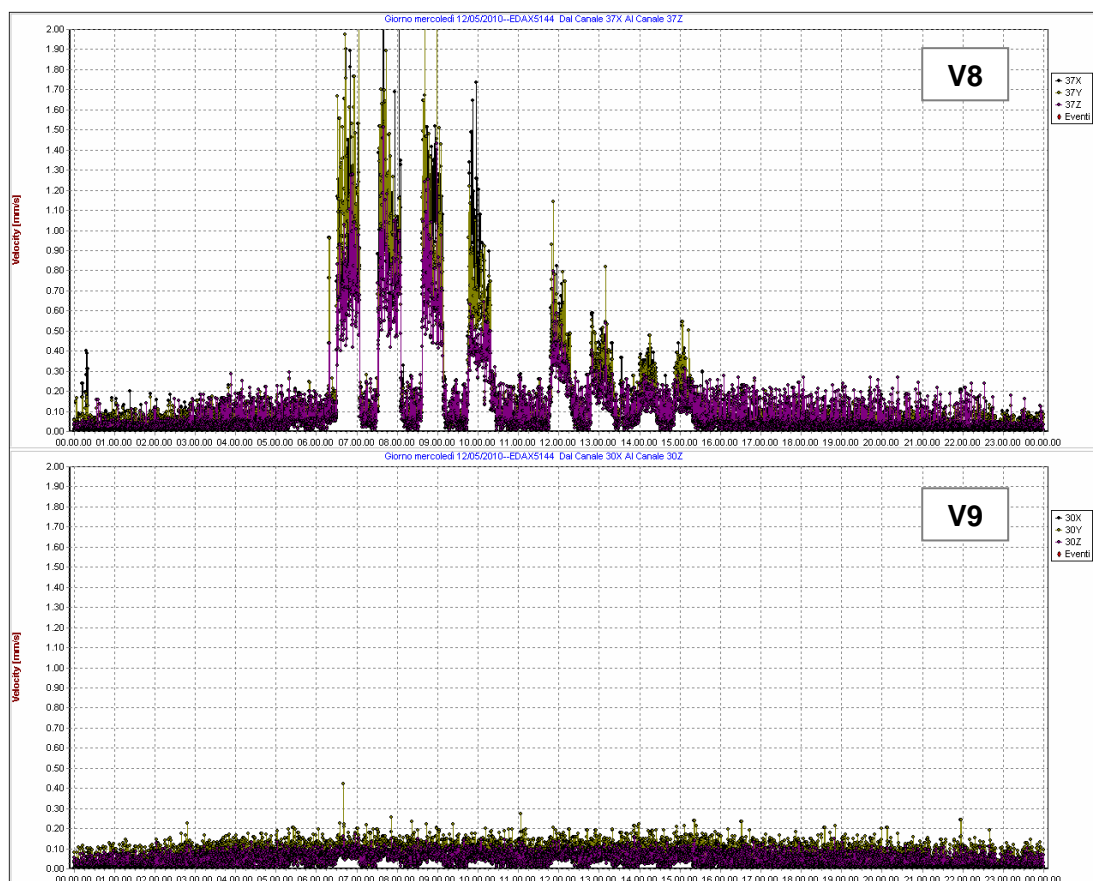


Figura 2.19: Villesse: picchi di vibrazione relativi ai velocimetri V8 (in asse con il microtunnel in corrispondenza del P8) in alto, e V9 (a circa 32m) in basso.

2.4.2.5 Analisi dei dati rilevati presso un edificio abitativo situato in prossimità dell'asse di perforazione del microtunnel Vipacco

Durante lo scavo del microtunnel al di sotto del fiume Vipacco è stato installato un velocimetro nei pressi di un'abitazione situata sulla sponda opposta al cantiere, a circa 120 m dall'asse del microtunnel (vedi Fig. 2.5), allo scopo di valutare l'effettiva influenza delle vibrazioni indotte durante le fasi di scavo della perforatrice.

Il valore di riferimento della normativa dipende dalla frequenza caratteristica degli edifici (per il piano basso) pertanto nell'insieme dei dati registrati durante l'attività di perforazione sono state isolate delle finestre temporali entro le quali sono stati rilevati valori di vibrazione massima pari a 0.078mm/s.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 33 di 201	Rev. 0

Questi valori sono risultati decisamente inferiori a quelli del riferimento normativo come si evince dalla seguente tabella 2.3 che riprende la tabella D1 della norma UNI 9916:2004 - Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.

Tab. 2.3 Valori di soglia per la velocità di vibrazione al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni secondo la tabella normativa UNI 9916(2004)-D.1

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v in mm/s			
		Fondazioni			Piano alto
		Da 1 Hz fino a 10 Hz	Da 10 Hz fino a 50 Hz	Da 50 Hz fino a 100 Hz ³	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ($f=10$ Hz) fino a 40 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 40 ($f=50$ Hz) fino a 50 ($f=100$ Hz)	40
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 ($f=10$ Hz) fino a 15 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 15 ($f=50$ Hz) fino a 20 ($f=100$ Hz)	15
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 ($f=10$ Hz) fino a 8 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 8 ($f=50$ Hz) fino a 10 ($f=100$ Hz)	8
*) Per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100 Hz.					

La norma UNI 9916:2004 si riassume con la seguente frase:

“La norma fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii per permettere la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica”.

Tale norma recepisce le indicazioni della normativa DIN 4150-3 e BS 7385 che fanno riferimento alla "peak component particle velocity"(p.c.p.v.), cioè al picco nel tempo della singola componente di velocità³.

In alcuni casi, alla p.c.p.v. devono essere associate una o più frequenze che sono predominanti nella registrazione. L'individuazione delle frequenze dominanti si rende necessaria solo nei casi in cui il valore di riferimento fornito dalle norme, con il quale la p.c.p.v. deve essere confrontata, varia con la frequenza.

Le norme citate prevedono che le misurazioni siano effettuate secondo tre assi mutuamente ortogonali: un asse ha direzione verticale, le due componenti orizzontali sono preferibilmente parallele/ortogonali ai muri dell'edificio.

Entrambe le norme specificano che i valori di riferimento indicati riguardano solo l'effetto diretto delle vibrazioni, non gli effetti indiretti quali, per esempio, cedimenti

³ (p.c.p.v.) è definita come il valore massimo del modulo di una delle tre componenti ortogonali misurate simultaneamente in un punto o ottenute mediante integrazione.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 34 di 201	Rev. 0

provocati dalla compattazione del terreno a seguito delle vibrazioni. Tali effetti indiretti devono essere considerati a parte.

Per entrambe le norme, i valori di riferimento indicati sono quelli al di sotto dei quali, salvo casi particolari, è ragionevole presumere che non vi sia danno; si specifica inoltre che il superamento dei limiti indicati non implica necessariamente il verificarsi del danno, ma è un segnale della necessità di indagini più approfondite.

Le raccomandazioni fornite nella norma UNI 9916 sulla risposta strutturale degli edifici, si limitano agli effetti delle vibrazioni che possono comportare l'insorgere di "danno architettonico o di soglia". I valori e le metodologie semplificate riportati non sono generalmente applicabili ai casi di insorgenza di "danno maggiore" per il quale è necessario ricorrere a valutazioni ed approfondimenti specifici da parte di esperti.

La figura 2.20 riporta la registrazione di una giornata di monitoraggio presso l'edificio nel momento in cui la TBM si trovava in una posizione di massima vicinanza, circa alla progressiva 126 m, come si evince dalle informazioni del Giornale di Cantiere. Sono evidenti cinque gruppi di picchi correlabili alla attività di perforazione, ma si evidenzia anche un notevole rumore di fondo imputabile al traffico veicolare sulla strada antistante l'edificio.

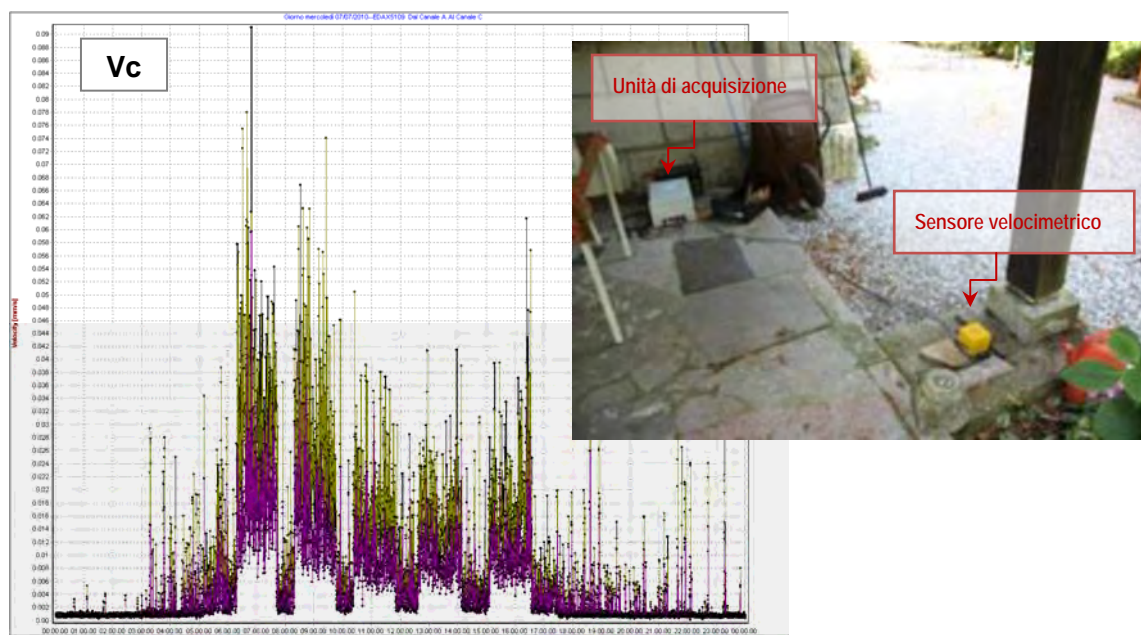


Figura 2.20 Vipacco: picchi di vibrazione relativi ai velocimetri Vc (posizionato nei pressi dell'abitazione campione) relativi a una singola giornata.

2.5 Coefficienti di attenuazione calcolati per i due siti monitorati

Dall'analisi effettuata e presentata più dettagliatamente nella seconda parte in questo studio sono stati stimati i coefficienti di attenuazione (η) tipici dei siti monitorati, al fine di valutare gli effetti vibrazionali della TBM in avanzamento, in un punto a distanza nota dalla stessa.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 35 di 201	Rev. 0

2.5.1 Richiamo concettuale al coefficiente di attenuazione

Per comprendere l'analisi sismica realizzata è utile fare un breve cenno su quello che esprime il parametro dell'attenuazione.

Quando un'onda elastica attraversa un mezzo la sua energia meccanica viene progressivamente convertita in calore a causa di attriti e viscosità tra le particelle: la presenza di porosità, fratture, acqua, gas determinano un decadimento dell'energia dell'onda sismica modificandola in frequenza ed in ampiezza.

E' noto che il terreno non sia un mezzo perfettamente elastico e questa caratteristica possa variare significativamente tra i vari tipi di terreno ed ancora di più tra terreno e vari tipi di roccia.

Dalla qualità del terreno Q dipende la perdita relativa di energia E per dissipazione anelastica di ogni ciclo d'onda secondo la seguente relazione:

$$\frac{1}{Q} = -\frac{\Delta E}{2\pi E}$$

nella quale $\Delta E \leq 0$ è la frazione di energia dispersa per ciclo d'onda, nell'ipotesi $|\Delta E| \ll E$.

I terreni più "rigidi" trasmettono le vibrazioni meglio di quelli più "soffici" e le qualità anelastiche del terreno influiscono diversamente anche sullo spettro di frequenza delle vibrazioni trasmesse.

Dalla definizione di ΔE , e definendo $\Delta E(R)$ come l'energia spesa dall'onda a percorrere in un tratto di lunghezza ΔR in direzione radiale rispetto alla sorgente, tale che:

$$\frac{\Delta E}{\lambda} = -\frac{\Delta E(R)}{\Delta R}$$

dove λ indica la lunghezza d'onda, si ottiene:

$$\frac{\Delta E(R)}{E} = \frac{\Delta E \Delta R}{\lambda E} = \frac{2\pi}{Q\lambda} \Delta R = \eta \Delta R$$

Dove η è il coefficiente di attenuazione.

Dall'ultima equazione appare chiaro come all'aumentare del fattore di qualità⁴, diminuisce l'energia dissipata dall'onda nel mezzo e conseguentemente diminuisce il fattore di attenuazione. Tale fenomeno risulterà evidente nei paragrafi seguenti confrontando le differenze tra gli smorzamenti registrati tra geofoni separati da terreno e tra quelli posti sull'asse del minitunnel dove i conci in calcestruzzo contribuiscono significativamente a trasmettere la vibrazione.

⁴ Intuitivamente correlato alla compattezza del terreno o della roccia

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 36 di 201	Rev. 0

2.5.2 Coefficienti di attenuazione per il sito di Villesse

Facendo riferimento al capitolo 3 per una trattazione più dettagliata il coefficiente di attenuazione che misura il decadimento dell'onda vibrazionale nel terreno indagato varia tra $\eta=0.6$ dB/m e $\eta=0.8$ dB/m. mentre lungo l'asse di perforazione, dove la vibrazione si trasmette primariamente tramite i conci di calcestruzzo varia tra $\eta=0.3$ dB/m e $\eta=0.4$ dB/m.

La variabilità del coefficiente di attenuazione dipende dalla direzione della componente esaminata, ma semplificando si può assumere che l'ampiezza delle vibrazioni indotte dalla TBM si dimezzi indicativamente ogni 20 m lungo i conci di calcestruzzo del metanodotto ed ogni 10 m nell'area circostante.

Lo smorzamento si manifesta lungo le tre direzioni x, y e z in modo praticamente omogeneo.

2.5.3 Coefficienti di attenuazione per il sito di Vipacco

Facendo riferimento al capitolo 4 per una trattazione più dettagliata, i coefficienti di attenuazione ricavati per questo sito sono simili a quelli calcolati nel paragrafo precedente e variano tra $\eta=0.6$ dB/m e $\eta=0.8$ dB/m per il terreno e tra $\eta=0.2$ dB/m e $\eta=0.3$ dB/m lungo l'asse di perforazione tramite i conci di calcestruzzo.

Per i geofoni più lontani dalla buca di spinta i valori ottenuti sono $\eta=1.1$ dB/m per G10 e G11 e $\eta=1.2$ dB/m per G12 e G13, in questi casi non è da escludersi che si tratti di un errore dovuto ai valori troppo piccoli delle energie delle vibrazioni misurate e del valore altrettanto piccolo della distanza relativa fra i geofoni e la testa della TBM.

La variabilità del coefficiente di attenuazione dipende dalla direzione della componente esaminata, ma semplificando si può assumere che l'ampiezza delle vibrazioni indotte dalla TBM si dimezzi indicativamente ogni 20 m lungo i conci di calcestruzzo del metanodotto ed ogni 10 m nell'area circostante.

Lo smorzamento si manifesta lungo le tre direzioni x, y e z in modo praticamente omogeneo.

2.6 **Elaborazioni grafiche esplicative dei fenomeni di smorzamento rilevati**

Premesso che l'energia prodotta dalla sorgente emittente la vibrazione (la fresa TBM nel nostro caso) si disperde secondo una legge esponenziale legata alle caratteristiche elastiche dei terreni e funzione della distanza dalla sorgente, nel presente paragrafo si utilizzano i dati rilevati nel cantiere di Villesse per evidenziare graficamente come i terreni abbiano dissipato l'energia delle vibrazioni prodotte durante l'avanzamento.

Tali grafici rappresentano la variazione dei rapporti tra l'ampiezza del segnale emesso dalla sorgente e quella del segnale rilevato in funzione della distanza, espressi in termini di velocità di spostamento.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 37 di 201	Rev. 0

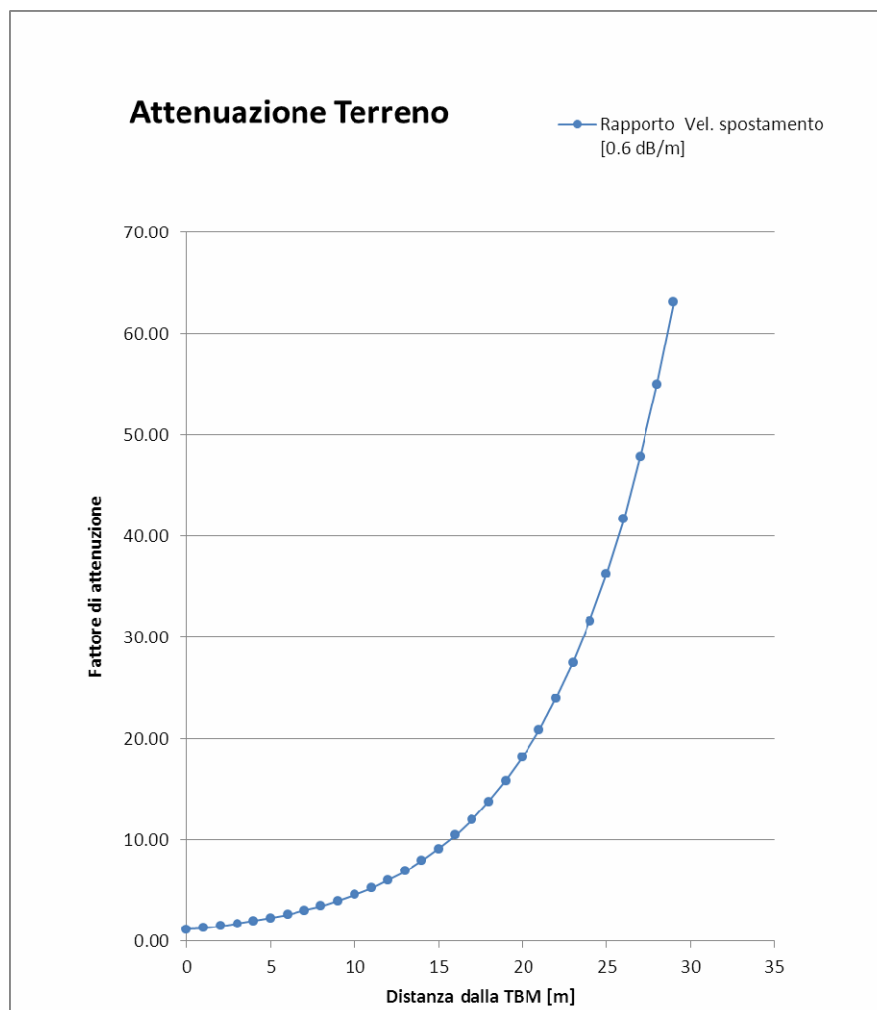


Figura 2.21 Variazione del coefficiente di attenuazione η in funzione della la distanza dalla sorgente per rapporti di ampiezza del segnale di 0.6 dB/m (cantiere di Villesse)

I grafici sono stati elaborati ipotizzando una situazione conservativa per cui si sono utilizzati cautelativamente i minimi fattori di attenuazione registrati utilizzando:

- il valore di 0.6 dB/m per le coppie di velocimetri ubicati fuori asse della TBM, rappresentativo delle caratteristiche di smorzamento del terreno (fig 2.21);
- il valore di 0.3 dB/m per i velocimetri ubicati in asse con la TBM rappresentativo delle caratteristiche di smorzamento dei conci (fig 2.22).

Ciò avviene perché i conci di calcestruzzo del minitunnel trasmettono la vibrazione meglio del terreno circostante evidenziando quanto lo smorzamento delle vibrazioni dipenda dalle caratteristiche di rigidità del terreno.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 38 di 201	Rev. 0

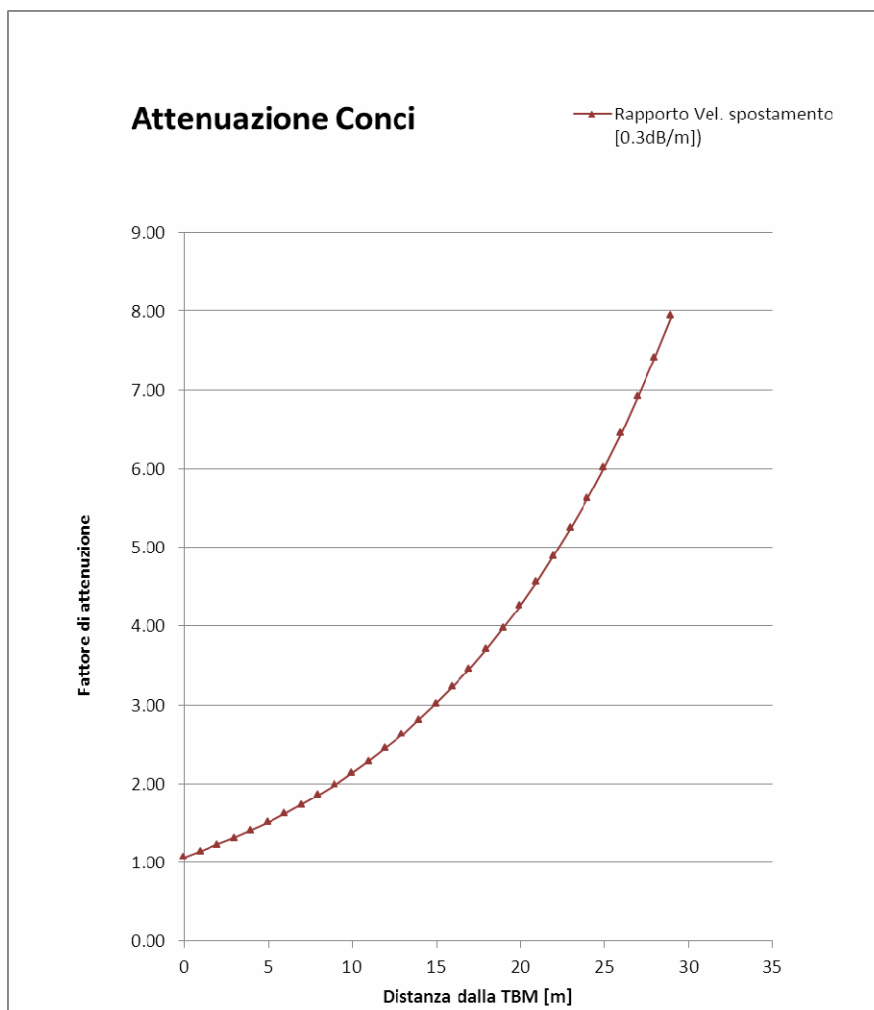


Figura 2.22 Variazione del fattore di attenuazione η in funzione della distanza dalla sorgente per rapporti di ampiezza del segnale di 0.3 dB/m. (cantiere di Villesse)

Dai grafici si osserva come la curva di attenuazione segua sempre una funzione di tipo esponenziale, ma nel caso dei velocimetri posizionati in asse con la TBM il fattore di attenuazione si riduce con la distanza molto meno di quanto si osservi tra le coppie di velocimetri posizionati in posizioni laterali all'asse di perforazione. Ciò avviene perché i conci di calcestruzzo del microtunnel trasmettono la vibrazione meglio del terreno ed una conseguente attenuazione minore.

La figura 2.23 riassume le raffronta i grafici precedenti evidenziando la variazione relativa del fattore di attenuazione per rapporti di ampiezza del segnale rispettivamente di 0.8 dB/m (che costituisce il massimo valore dei coefficienti di attenuazione calcolati in base ai dati di monitoraggio), di 0.6 dB/m e di 0.3 dB/m (limite inferiore dei coefficienti di attenuazione calcolati in base ai dati di monitoraggio).

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 39 di 201	Rev. 0

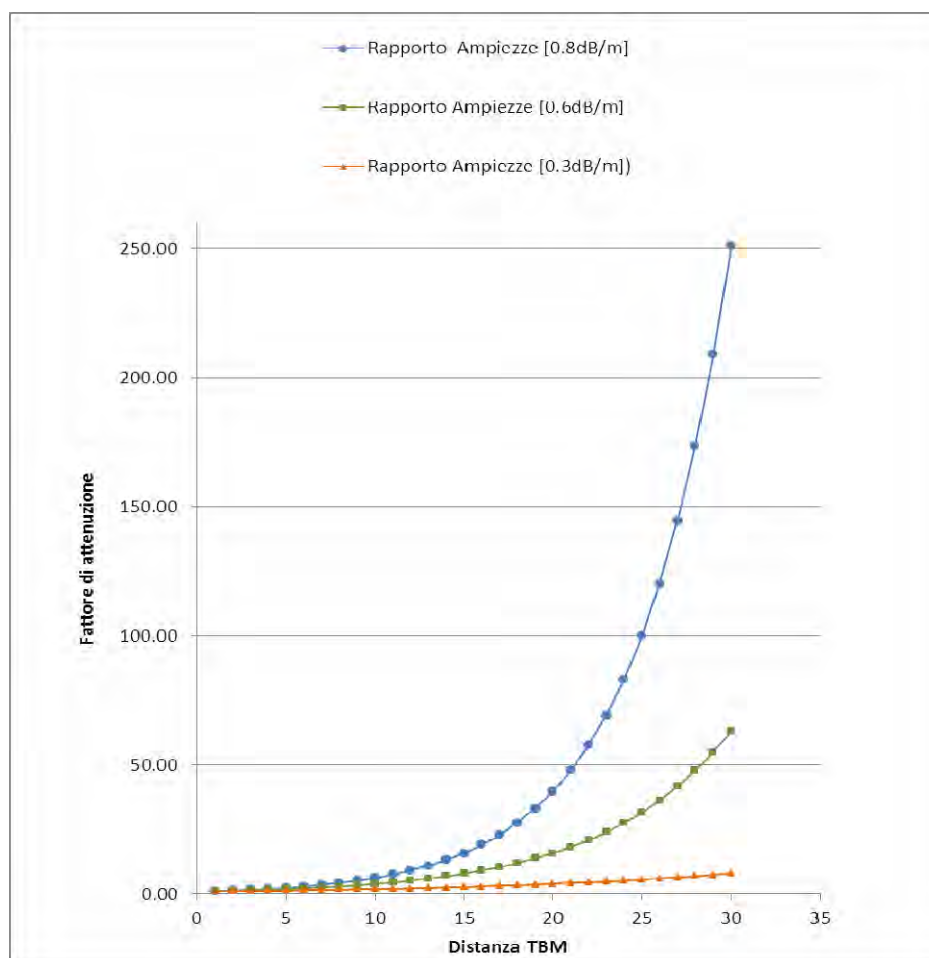


Figura 2.23 Variazione del fattore di attenuazione calcolato in funzione della distanza per i rapporti di ampiezza della velocità di spostamento di 0.8 dB/m (limite superiore) , di 0.6 dB/m e di 0.3 dB/m (limite inferiore) (cantiere di Villesse)

2.7 Applicazione dei coefficienti di attenuazione alle normativa UNI 9916:2004

Premesso che i valori di spostamento massimi registrati sono sempre stati inferiori alla soglia di 5 mm/s richiesti dalla normativa per edifici appartenenti alla classe 2. e che tale risultato dipende sia dalla tecnica di perforazione sia dalle caratteristiche di attenuazione del sito indagato, si è voluto valutare quale sarebbe potuto essere il massimo della vibrazione che la fresa TBM avrebbe potuto produrre, negli stessi terreni ed in funzione della distanza da un edificio residenziale, rimanendo entro i limiti indicati dalla normativa.

Nel grafico successivo sono riportate le velocità di spostamento massime in funzione della distanza della TBM a partire dai valori limite previsti dalla normativa UNI 9916:2004 (cfr. tab. 2.3). Si è fatto riferimento ad un coefficiente di attenuazione $\eta=0.6\text{dB/m}$, medio tra quelli calcolati per i terreni studiati (figura 2.24).

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 40 di 201	Rev. 0

Come riferimento per il grafico si è scelta la Classe 2 che comprende gli edifici residenziali caratterizzati da un range di frequenze critiche compreso tra 1Hz-10Hz e tra 10Hz-50Hz, per i quali si richiede che le vibrazioni restino contenute rispettivamente entro le soglie di 5 mm/s, e di 15 mm/s.

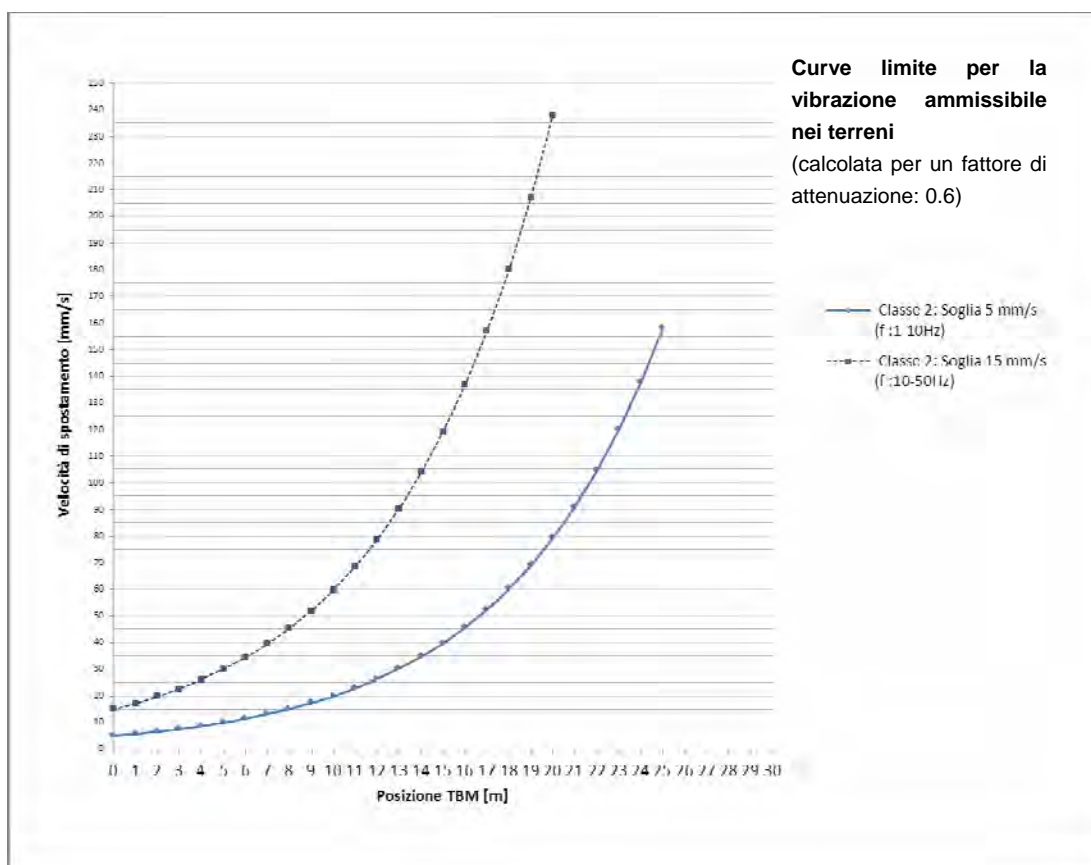


Figura 2.24: Curve limite per la vibrazione ammissibile, trasmessa dai terreni, calcolata per un fattore di attenuazione di 0.6 dB/m (cantiere di Villesse)

Per completezza espositiva nel grafico riportato in figura 2.25 si propongono le medesime curve calcolate per la vibrazione trasmessa lungo i conci del microtunnel.

La normativa che regola la progettazione delle condotte, relativa alla distanza minima dagli edifici, impedisce che possa realizzarsi questo caso limite, tuttavia il grafico consente di evidenziare quanto possa essere significativamente differente la distanza di sicurezza qualora fossero stati interessati terreni maggiormente rigidi quali depositi cementati o rocce lapidee qualitativamente assimilabili al calcestruzzo.

Dal confronto tra i due grafici si evince, per esempio, che se una fresa lavorasse in terreni simili a quelli indagati ad una distanza di 20 m da un edificio residenziale di Classe 2 (caratterizzato da un range di frequenze critiche compreso tra 1Hz-10Hz) potrebbe produrre vibrazioni con velocità di spostamento nell'ordine di 70 mm/s rimanendo nei limiti di legge, mentre se lavorasse in terreni cementati o in roccia le velocità di spostamento ammissibili sarebbero nell'ordine di 20 mm/s o inferiori.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 41 di 201	Rev. 0

perché il mezzo che trasmette le vibrazioni è maggiormente elastico ($Q_{\text{roccia}} \gg Q_{\text{terreno}}$) ed in grado di trasmettere l'energia dissipandone meno ad ogni ciclo (cfr paragrafo 2.5.1).

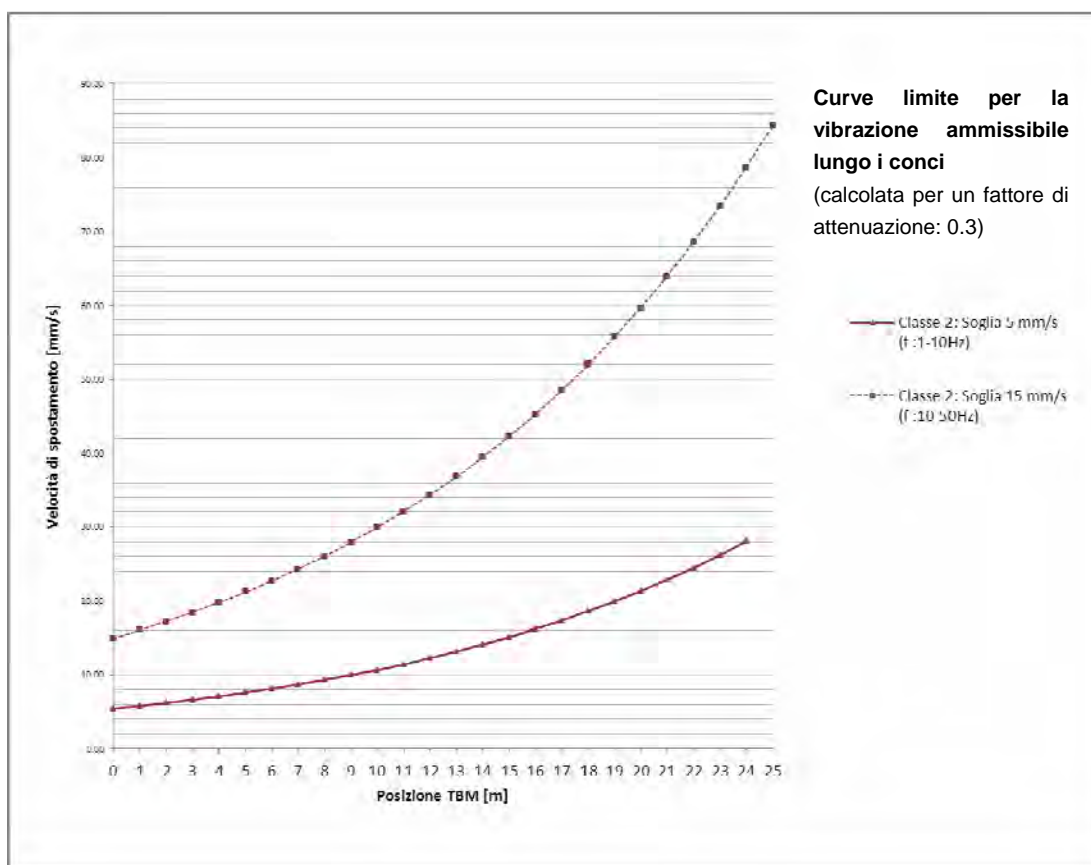


Figura 2.25: Curve limite per la vibrazione ammissibile, trasmessa lungo i concii, calcolata per un fattore di attenuazione di 0.3 dB/m (cantiere di Villesse)

La figura 2.26 chiarisce ulteriormente i concetti esposti raffrontando le velocità di spostamento ammissibili in funzione della distanza da un edificio residenziale di Classe 2 caratterizzato da un range di frequenze critiche compreso tra 1Hz-10Hz, calcolate rispettivamente per:

- coefficiente di attenuazione $\eta = 1.2$ dB/m corrispondente al massimo tra i valori del coefficiente di attenuazione calcolati in base ai dati di monitoraggio presso il cantiere di Vipacco);
- coefficiente di attenuazione $\eta = 0.6$ dB/m un valore intermedio tra quelli trovati: è la stesa curva (superiore) proposta nella figura 2.24 ;
- coefficiente di attenuazione $\eta = 0.2$ dB/m corrispondente al minimo tra i coefficienti di attenuazione calcolati in base ai dati di monitoraggio relativi al medesimo sito.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 42 di 201	Rev. 0

Nel grafico le tre curve esponenziali sono state costruite a partire dalla velocità di spostamento di 5 mm/s cioè il limite fissato dalla normativa per la classe scelta come riferimento (Classe 2, edifici residenziali, frequenze 1Hz-10Hz).

Le curve mostrano le velocità di spostamento massime che una fresa TBM potrebbe emettere qualora fosse presente un edificio alla distanza in ordinata ossia quale sia la distanza di rispetto di un microtunnel da un edificio residenziale affinché vengano osservate le soglie suggerite dalla normativa, in funzione delle velocità di spostamento massime attese durante l'attività di una TBM.

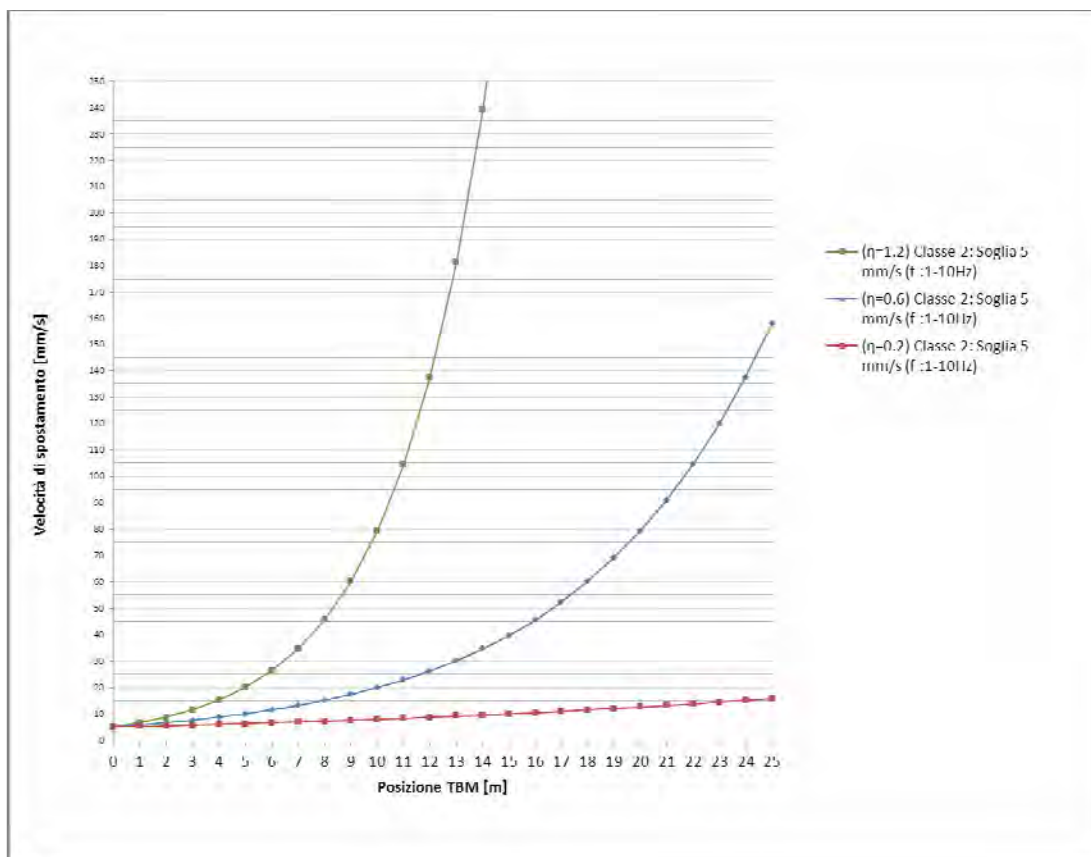


Figura 2.26: Curve limite per la vibrazione ammissibile, calcolata per fattori di attenuazione di 1.2 dB/m (limite superiore) , 0.6 dB/m e 0.2 dB/m (limite inferiore) (cantiere di Vipacco)

Nel caso specifico tuttavia è importante sottolineare come i valori di spostamento massimi registrati siano stati in tutti i casi inferiori alla soglia di 5 mm/s prescritta per edifici appartenenti alla classe 2, questo risultato dipende sia alle tecniche di perforazione adottate sia dalle caratteristiche di attenuazione del sito indagato.

Visto che la tipologia del terreno condiziona anche la forma e la distribuzione degli scalpelli sulla testa fresante, la pressione di spinta ed i giri della macchina, si può stabilire una correlazione diretta tra la resistenza meccanica di un terreno e l'energia che la fresa TBM dissipa producendo vibrazioni durante l'avanzamento ed una relazione inversa con la capacità di smorzamento. E' intuitivo che una punta che

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 43 di 201	Rev. 0

frantumata una roccia produce più vibrazioni di uno scalpello a lama che taglia terreni limo argillosi, ma dalla curva rossa di figura 2.26 si può vedere che lungo l'asse dei concetti in c.a. un aumento limitato di distanza non cambia molto l'ampiezza della vibrazione tollerabile e questo comportamento è assimilabile ad un terreno roccioso. Dalle curve azzurre e verde si può vedere che in terreni alluvionali di diversa consistenza la TBM potrebbe avanzare producendo vibrazioni superiori di almeno un ordine di grandezza a quelle di normativa, anche se l'eventuale edificio fosse alla minima distanza di rispetto dalla condotta e ciò consente di escludere qualunque ipotesi di danneggiamento.

2.8 Modello sismo-stratigrafico e valutazione delle possibilità di estendere i risultati dello studio a situazioni stratigrafiche analoghe

La zona monitorata è caratterizzata da una geometria tabulare, tipica di ambienti a sedimentazione fluviale non interessati da discontinuità importanti. Tali condizioni permettono quindi di discretizzare una successione piano parallela costituita da alternanze di facies fluviali, fortemente eterogenee e caratterizzate da velocità sismiche inferiori ai 2000m/s. Nei primi metri di profondità inoltre il materiale è sovente rimaneggiato o poco addensato. Velocità riconducibili a un bed rock sismico (intorno ai 3000m/s) che nella fattispecie possono essere tipiche di calcari più o meno fratturati si osservano solo a partire da 15 m e in taluni casi da 30 m p.c. .

La tabella 2.4 riassume la situazione stratigrafica per la quale è stato elaborato il presente studio attraverso un modello del sottosuolo semplificato, depurato delle anomalie e eterogeneità locali, che premetta di estendere i risultati ottenuti a scenari affini o interessanti litologie con velocità sismiche minori .

Tab. 2.4 *Modello stratigrafico del sottosuolo in termini di classi litologiche e relative caratteristiche di velocità di propagazione delle onde sismiche*

Litologia	Velocità sismiche [m/s]	Profondità [m]
Terreno poco addensato (terreno di riporto, sedimenti eterogenei di tipo fluviale)	<1000	0-7
Sedimenti fluviali, livelli marnosi e arenacei,	1000 - 2000	7 -15
calcari dolomitici fratturati	3200	15 -30

La tabella 2.5 fornisce i range di valori delle velocità caratteristiche di alcune classi di litotipi ed evidenzia che terreni alluvionali sciolti presentano velocità sismiche comprese tra i 400 m/s e i 2000 m/s, in linea con i risultati della caratterizzazione geosismica dei terreni rinvenuti nei siti monitorati.

Da questa tabella si desume che esistono molte situazioni stratigrafiche caratterizzate da velocità sismiche inferiori a quelle dei terreni studiati: per esempio il campo dei sedimenti alluvionali che va dai sedimenti fini coesivi normalmente consolidati fino alle sabbie e ghiaie in matrice limo argillosa normalmente addensate.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 44 di 201	Rev. 0

Per i terreni dove l'assetto stratigrafico studiato può essere preso come limite superiore delle velocità caratteristiche del terreno è possibile aspettarsi valori di attenuazione e vibrazione cautelativamente paragonabili a quelli ottenuti nel presente Studio.

I risultati del presente studio di monitoraggio dinamico possono quindi essere considerati estrapolabili ad altri contesti a patto che le specifiche condizioni litostratigrafiche presentino elementi di contiguità con il modello geofisico proposto per il sito in esame.

Dalla medesima tabella si deduce che i risultati ottenuti non possono essere estrapolati a terreni caratterizzati da velocità superiori sia nel caso di addensamenti elevati o cementazione dei depositi alluvionali sia e soprattutto qualora siano interessate formazioni rocciose.

Tab. 2.5 Velocità di trasmissione delle onde sismiche caratteristica di alcune classi di terreni; in evidenza la classe dei terreni a cui appartengono quelli oggetto del presente studio

Litotipo	V _p (m/sec)
- Areato superficiale	300 - 800
- Sabbia asciutta	500 - 1000
- Sabbia umida	600 - 1800
- Argilla	1800 - 2900
- Terr. alluv. sciolti	400 - 2000
- Lave	2500 - 4000
- Calcare	3500 - 5000
- Arenarie	2500 - 4500
- Graniti	4000 - 6000
- Piroclastiti coerenti (tufo)	750 - 2450
- Piroclastiti incoerenti (pozzolana)	350 - 1000

Da Rapolla (1988)

2.9 Conclusioni

Dai dati acquisiti con il monitoraggio dei due cantieri è risultato che le vibrazioni, espresse in termini di velocità di spostamento, rilevate presso le aree di cantiere durante la perforazione dei minitunnel, sono risultate inferiori ai limiti di legge relativi agli edifici residenziali, industriali ed a costruzioni simili, indipendentemente dalla loro distanza dall'asse del minitunnel.

Il monitoraggio dell'edificio più vicino, posto a oltre 120 m dall'asse di progetto, ha registrato valori di velocità di spostamento inferiori di un ordine di grandezza rispetto ai limiti di norma.

Lo studio effettuato non si è limitato al solo monitoraggio, cioè alla acquisizione dei dati ed al loro confronto con i limiti di legge, ma è stato possibile ricavare anche un modello di analisi utilizzabile in analoghe attività di monitoraggio.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 45 di 201	Rev. 0

I terreni attraversati sono classificabili come depositi alluvionali di buone caratteristiche geomeccaniche e di elevata capacità di trasmissione delle onde sismiche rispetto alla generalità dei depositi alluvionali. Per tale motivo è quindi plausibile che un'analogia fresa TBM operante in terreni più "soffici" produca vibrazioni non superiori a quelle qui rilevate ed in tali casi si possa assumere che le vibrazioni indotte dalla trivellazione siano ininfluenti anche su edifici eventualmente situati alla minima distanza di rispetto imposta dalla normativa per le condotte di gas (DM 17 aprile 2008).

I risultati numerici ottenuti possono essere estrapolati ad analoghi progetti di microtunnel se terreni interessati rispondono ad alcuni parametri, facili da verificare per ogni sito, quali la velocità di trasmissione delle onde sismiche.

La metodologia utilizzata per valutare le caratteristiche di smorzamento tipiche dei terreni attraversati può consentire di creare una casistica effettuando monitoraggi molto meno impegnativi che possano confermare il risultati ottenuti e le estrapolazioni preventivate.

Si evidenzia però che non è possibile estendere i risultati ottenuti nel presente studio a perforazioni che interessino terreni rocciosi o assimilabili sia perché questi hanno generalmente capacità di attenuazione decisamente inferiori, sia perché una fresa che avanza nella roccia frantumandola provoca vibrazioni di maggiore intensità.

I terreni alluvionali con caratteristiche meccaniche simili o inferiori a quelli monitorati per i quali quindi possibile estendere i risultati di questo studio sono comunque molto diffusi e caratterizzano la maggior parte della Pianura Padano-Veneta.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 46 di 201	Rev. 0

PARTE SECONDA

STUDIO SUI COEFFICIENTI DI ATTENUAZIONE DELLE VIBRAZIONI RILEVATE DURANTE IL MONITORAGGIO DINAMICO

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 47 di 201	Rev. 0

3 COEFFICIENTI DI ATTENUAZIONE NEL SITO “VILLESSE”

3.1 Introduzione

In questo capitolo sono riportati i risultati dell'analisi dei segnali acquisiti da una rete di velocimetri (geofoni) atta a monitorare le vibrazioni indotte dall'avanzamento di una TBM durante la costruzione del Metanodotto Villesse-Gorizia DN 1050 (42"). Il minitunnel è finalizzato all'attraversamento della Autostrada A4 Mestre-Trieste presso lo svincolo di Villesse, ha una lunghezza di circa 120 m ed è stato realizzato in conci di cemento armato con diametro di 1600 mm.

La rete di acquisizione è costituita da un geofono fisso, collocato sul pozzo di spinta (G1) e da altri quattro sensori ubicati a coppie parallelamente alla direzione di avanzamento, due in asse alla perforazione e due distanti circa 30 m verso Nord. Per seguire l'avanzamento della perforazione il monitoraggio si è svolto in due fasi: nelle prima le due coppie di geofoni sono state installate sul lato dell'autostrada rivolto verso alla buca di spinta, poi sul lato opposto.

Lungo il tracciato della TBM sono stati collocati i geofoni G2 e G4, nella prima fase e G6 e G8 nella seconda; parallelamente a questi sono stati posti i geofoni G3 e G5, nella prima fase e G7 e G9 nella seconda fase.

I 3 assi dei velocimetri sono stati orientati con:

- la direzione Y parallela alla direzione di avanzamento
- la direzione X perpendicolare alla direzione di avanzamento sul piano orizzontale
- la direzione Z verticale

Si evidenzia che si è scelto di assegnare le direzioni del sistema di monitoraggio per focalizzare lo studio sulla propagazione delle vibrazioni in direzione ortogonale rispetto alla direttrice di avanzamento della TBM. Con tale assunzione in questo capitolo ogni riferimento alla componente trasversale della vibrazione si riferisce alla direzione parallela all'asse del progetto (Y) che nel capitolo 2 è citata come direzione longitudinale dovendo fare riferimento alla direzione di avanzamento della fresa per rendere facilmente comprensibili le ubicazioni e gli spostamenti dei velocimetri.

La profondità dello scavo è assunta costante e pari a 5 m.

Durante tutta la durata della costruzione del metanodotto, i segnali velocimetrici sono stati acquisiti in modalità continua e possono essere correlati con le varie fasi di lavoro mediante il giornale di cantiere.

L'obiettivo dell'analisi qui riportata è quello di stimare i coefficienti di attenuazione tipici del sito considerato, al fine di valutare gli effetti vibrazionali della TBM in avanzamento, in un punto a distanza nota dalla stessa.

3.2 Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del pozzo di spinta – geofono G1

Nella fase iniziale d'avanzamento della TBM (06-05-2010) il geofono G1, installato in prossimità del pozzo di spinta, permette di stimare l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e retro-propagata lungo i conci di calcestruzzo.

Dai segnali acquisiti dal geofono durante tutta la giornata sono stati estratti i corrispondenti valori quadratici medi (RMS, Root Mean Square), calcolati su una finestra

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 48 di 201	Rev. 0

temporale di un minuto, come mostrato in Fig. 4.1 per la componente longitudinale (ortogonale alla direzione del metanodotto in costruzione).

Nella parte superiore della figura i valori RMS sono mostrati rispetto al tempo, su scala oraria; nella parte inferiore, rispetto alla posizione della testa della TBM, che ha generato il segnale, estratta dal giornale di cantiere. In entrambi i grafici sono mostrati gli andamenti sia in scala lineare (linea nera, valori assoluti in mm/s) che in scala logaritmica (linea rossa, valori normalizzati rispetto al loro massimo, espressi in dB). Dal primo grafico si possono individuare i valori RMS misurati dal geofono al di fuori delle attività di cantiere (circa 0.002 mm/s, corrispondenti a -25dB dal valor massimo), durante le attività di cantiere (circa 0.007 mm/s, corrispondenti a -15dB dal valor massimo) e durante le fasi di spinta dei conci di calcestruzzo (circa 0.03 mm/s, corrispondenti a -3dB dal valor massimo). Dal secondo grafico, invece, si può stimare l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e retro-propagata lungo il calcestruzzo verso il pozzo di spinta, assumendo una perfetta ripetibilità dell'onda indotta dalla TBM nel terreno; nel caso in esame, tale attenuazione vale circa 0.3 dB/m.

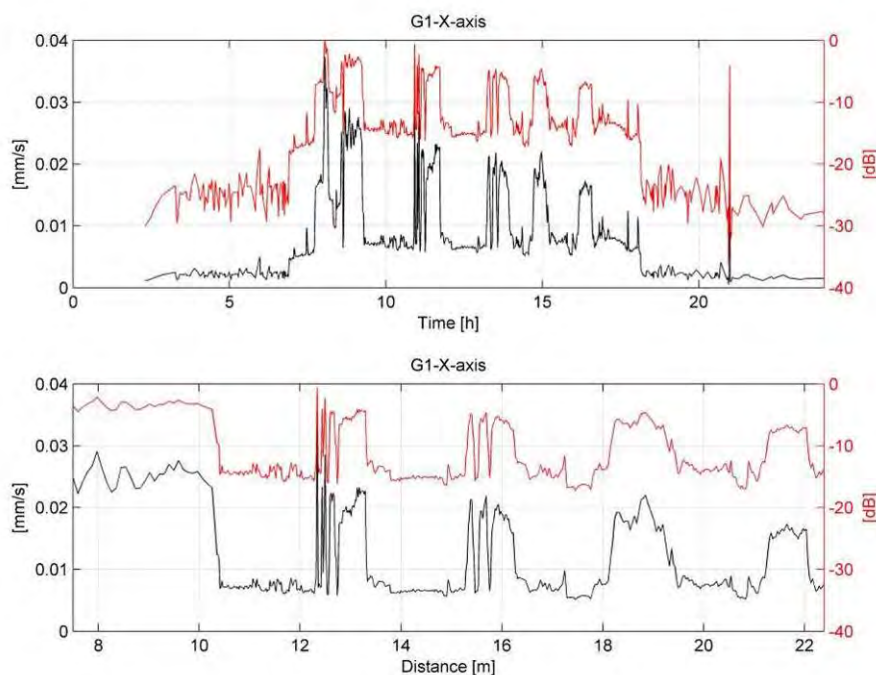


Figura 3.1 Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G1 .

Seguendo la stessa procedura sono calcolati i valori RMS e l'attenuazione dell'onda, propagata lungo i conci di calcestruzzo, per le componenti trasversali (parallela alla direzione del metanodotto) e verticale (Fig. 3.2 e 3.3). I risultati ottenuti sono riassunti in Tab. 3.1.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 49 di 201	Rev. 0

Tab. 3.1. Valori RMS ed attenuazione dell'onda propagata lungo i conci di calcestruzzo stimati dai segnali acquisiti dal geofono G1.

Geofono G1	Asse x	Asse y	Asse z
Velocità in assenza di attività [mm/s]	0.002 (-25dB)	0.003 (-26dB)	0.002 (-25dB)
Velocità in presenza di attività [mm/s]	0.007 (-15dB)	0.010 (-12dB)	0.004 (-18dB)
Velocità nella fase di spinta [mm/s]	0.03 (-3dB)	0.05 (-1dB)	0.02 (-2dB)
Decadimento [dB/m]	0.03	0.06	0.07

Si noti che la stima dell'attenuazione effettuata in questo paragrafo, potrebbe essere affetta da imprecisione a causa della non perfetta ripetibilità delle onde elastiche indotte dalla TBM, che risulta significativa sulla breve distanza (circa 10 m) in cui è calcolato il decadimento d'ampiezza; per questo motivo una stima più affidabile sarà effettuata nei paragrafi successivi, considerando il decadimento su distanze maggiori (almeno 100 m) o con un approccio differenziale (valutando il decadimento fra due geofoni, a parità di sorgente).

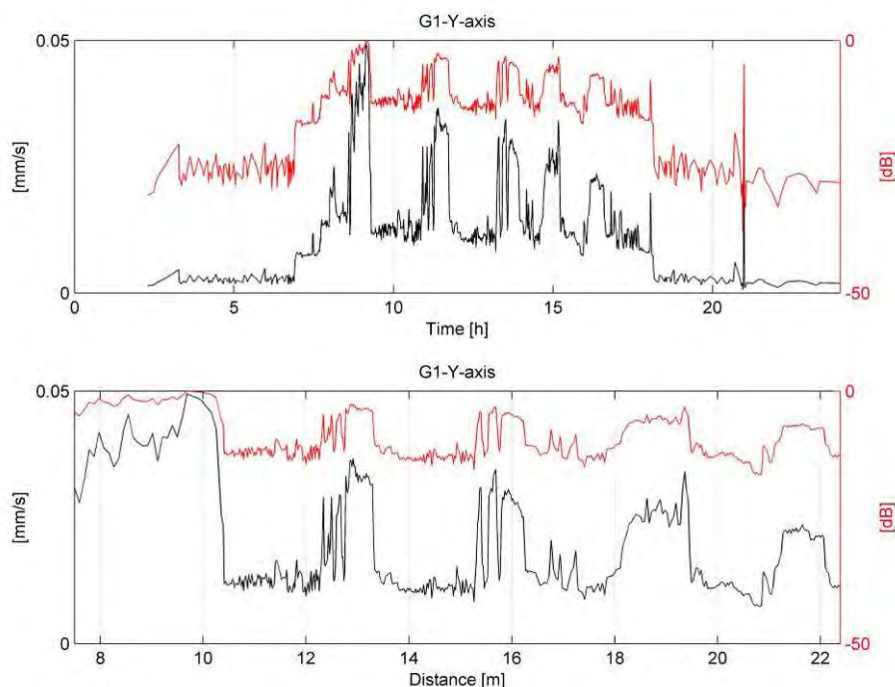


Figura 3.2 Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G1.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 50 di 201	Rev. 0

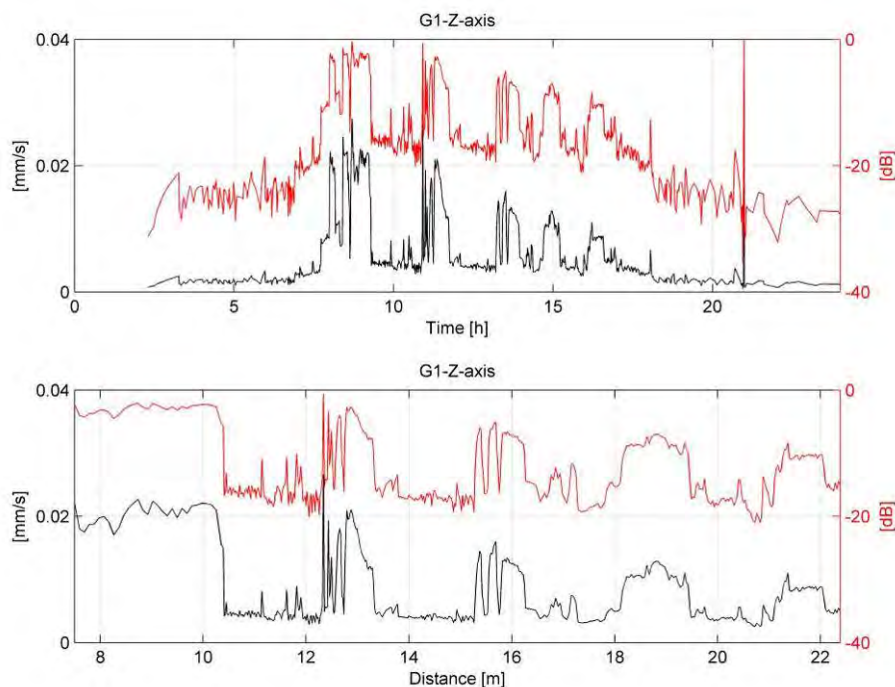


Figura 3.3 Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G1.

Lo spettro dei segnali acquisiti dalla componente longitudinale del geofono G1, durante tutta la durata dell'acquisizione, è mostrato nello spettrogramma di Fig. 3.4. nel quale si può notare che durante le attività di cantiere lo spettro ricopre quasi tutta la banda ed è caratterizzato anche da componenti in frequenza prossime ai 100Hz (in concomitanza delle fasi di spinta).

Al di fuori delle attività di cantiere le componenti spettrali più significative sono comprese entro i primi 30-40Hz, ma si nota la presenza di una componente sinusoidale a circa 15Hz costantemente presente per tutta la giornata e molto probabilmente correlabile al traffico autostradale.

Si evidenzia infine la presenza del filtro anti-alias che taglia le frequenze oltre i 100Hz circa (la frequenza di campionamento è di 250Hz);

Gli spettrogrammi corrispondenti alle componenti trasversali e verticali del geofono G1 sono mostrati nelle Fig. 3.5 e 3.6.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 51 di 201	Rev. 0

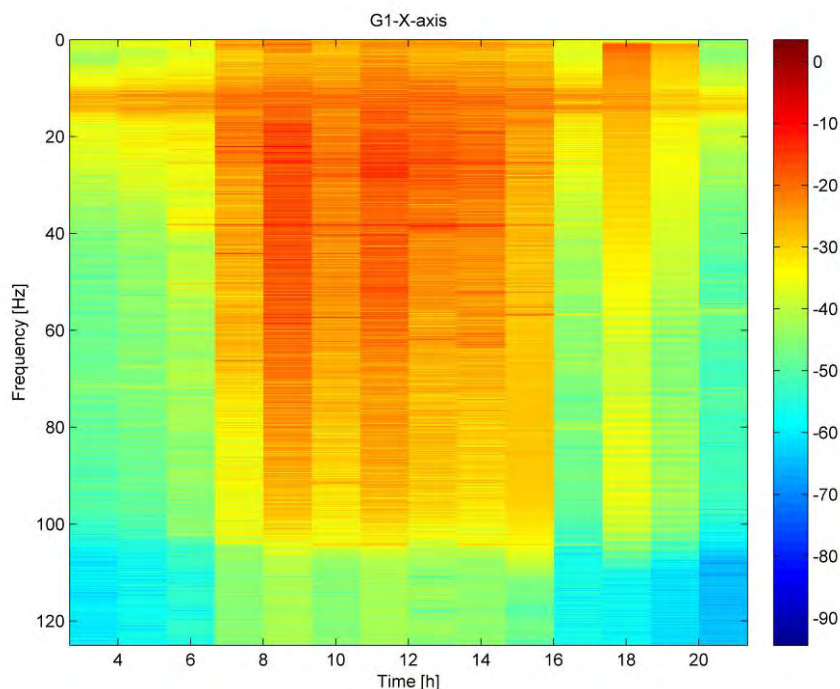


Figura 3.4 Spettrogramma del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G1.

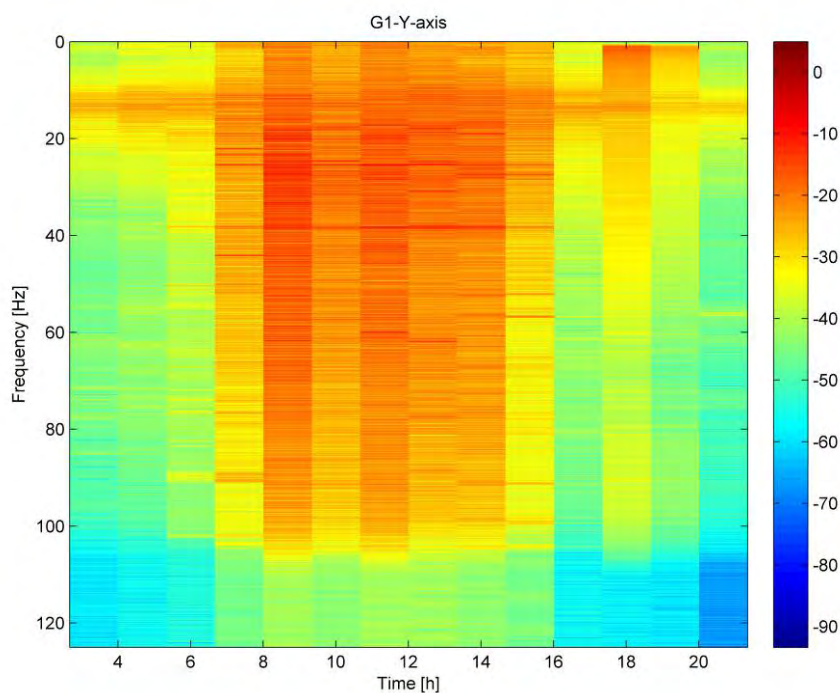


Figura 3.5 Spettrogramma del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G1.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 52 di 201	Rev. 0

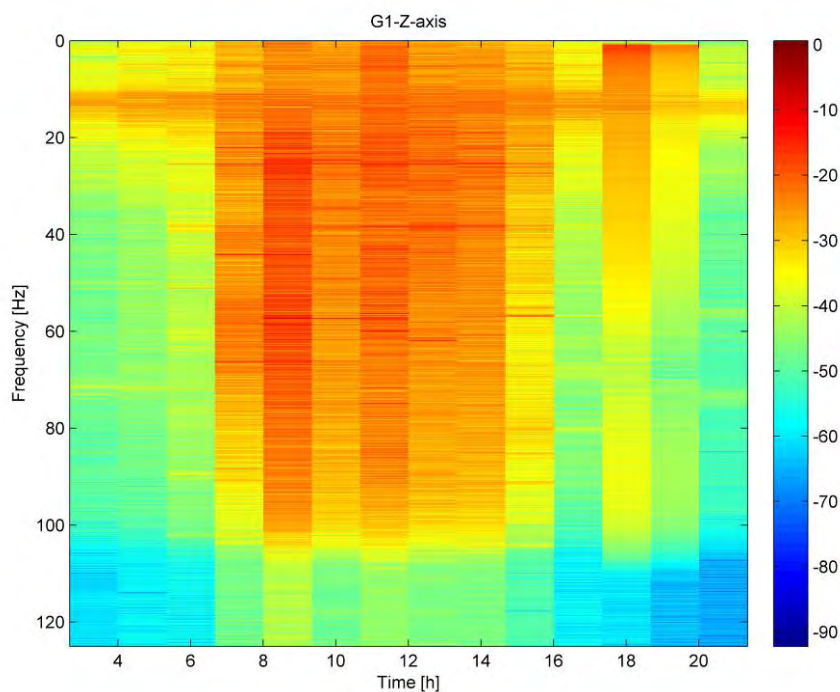


Figura 3.6 Spettrogramma del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G1.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 53 di 201	Rev. 0

3.3 Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM nell'area compresa fra i geofoni G2 e G3

In questo paragrafo è stimata l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e propagatasi nel terreno dell'area compresa fra i geofoni G2 e G3 (a Nord del pozzo di spinta).

Dapprima viene stimato il livello RMS dei segnali acquisiti dai geofoni G2 e G3 quando la testa della TBM si trova nelle immediate vicinanze del geofono G2 (06-05-2010); in seguito viene calcolato il rapporto di tali valori, espresso in dB. Questo ultimo valore, diviso per la differenza fra la distanza di G2 dalla testa della TBM e la distanza di G3 dalla testa della TBM (29 m circa), restituisce il valore dell'attenuazione da stimare.

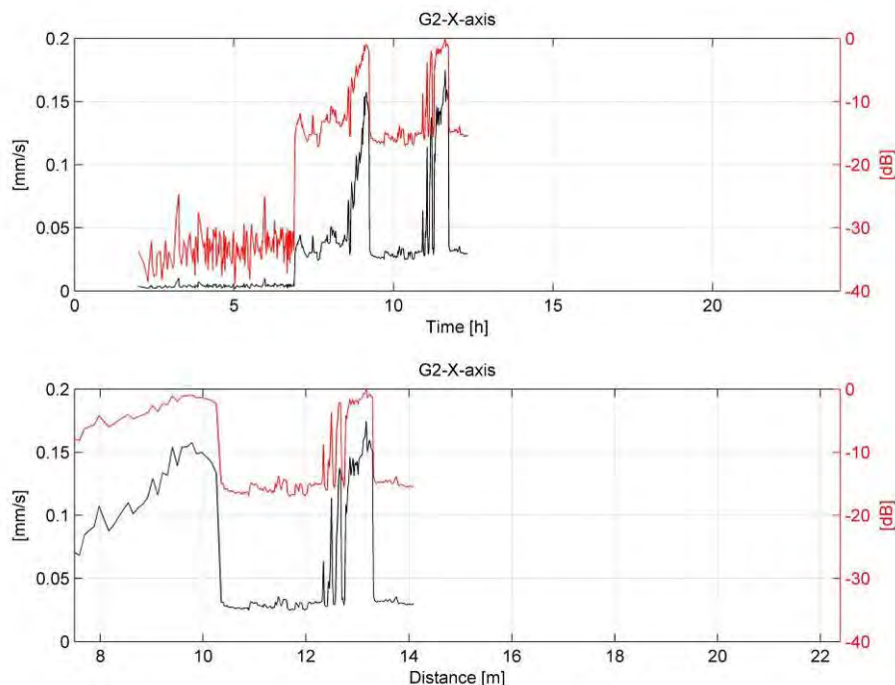


Figura 3.7 Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G2.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 54 di 201	Rev. 0

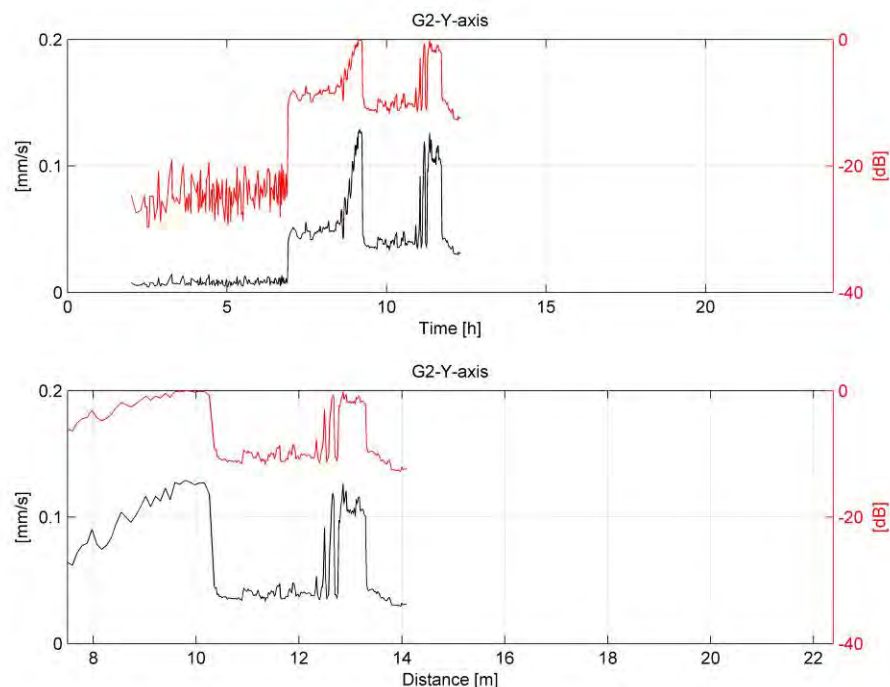


Figura 3.8 Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G2.

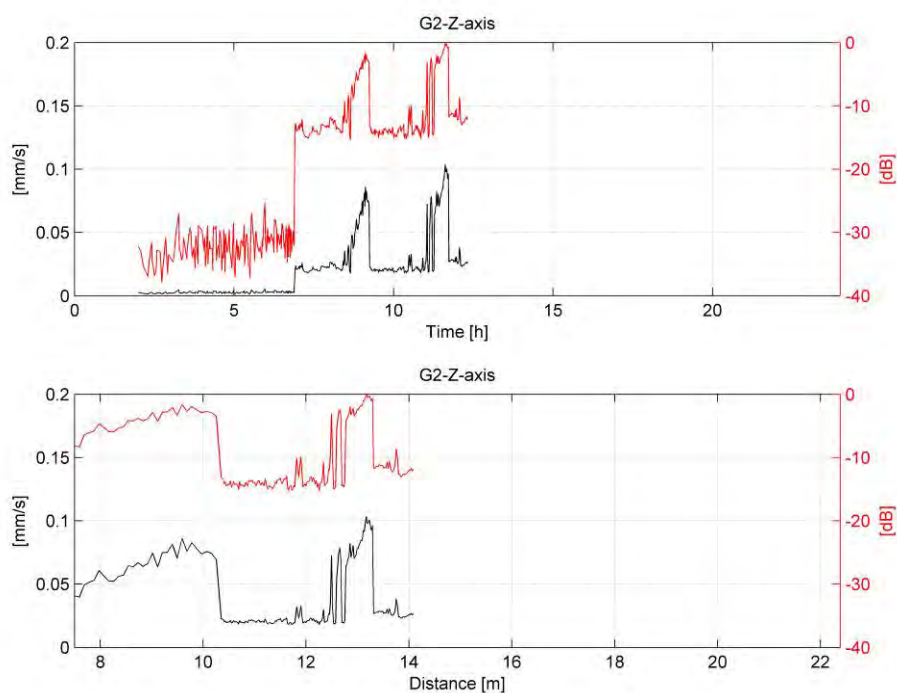


Figura 3.9 Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G2.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 55 di 201	Rev. 0

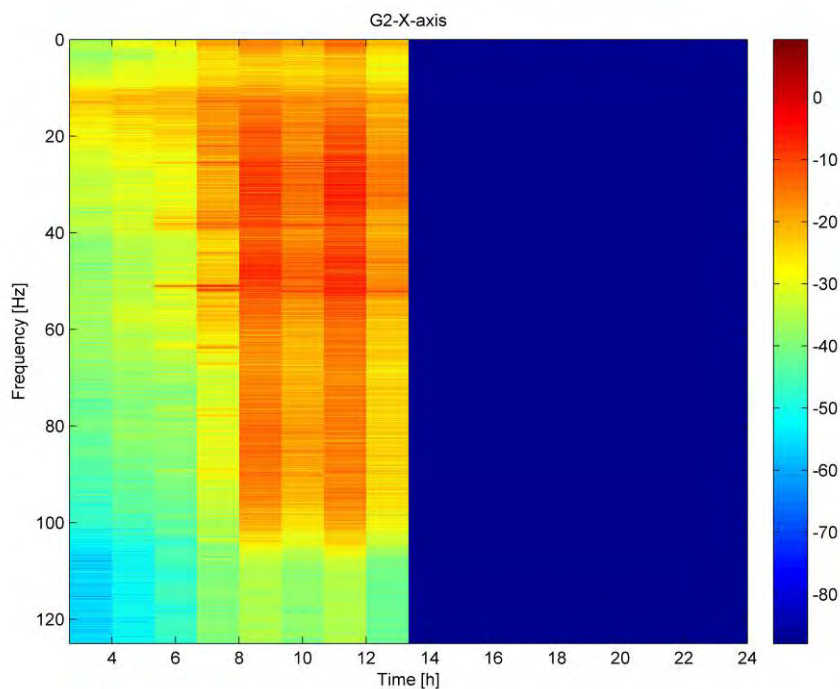


Figura 3.10 Spettrogramma del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G2.

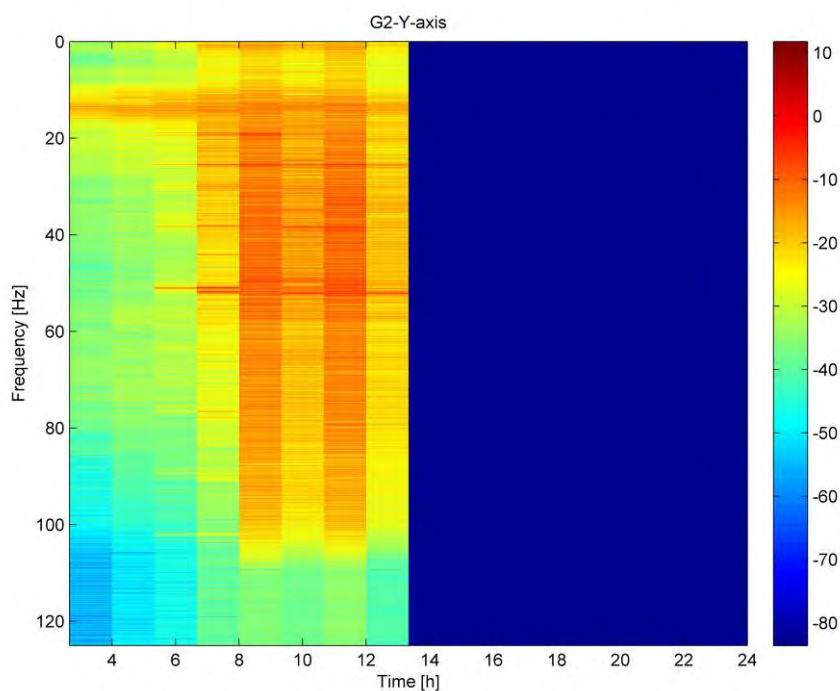


Figura 3.11. Spettrogramma del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G2.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 56 di 201	Rev. 0

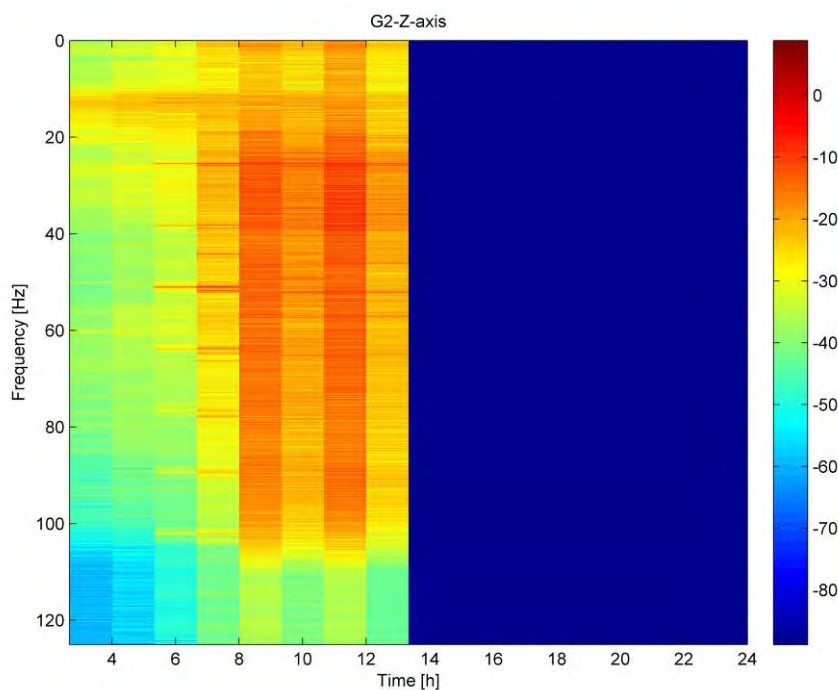


Figura 3.12. Spetrogramma del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G2.

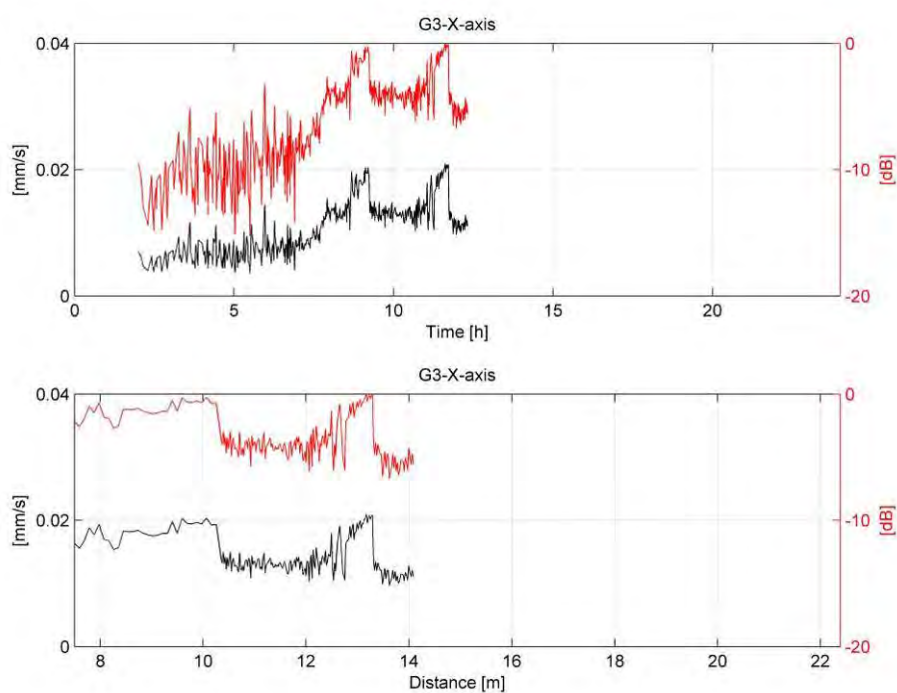


Figura 3.13. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G3.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 57 di 201	Rev. 0

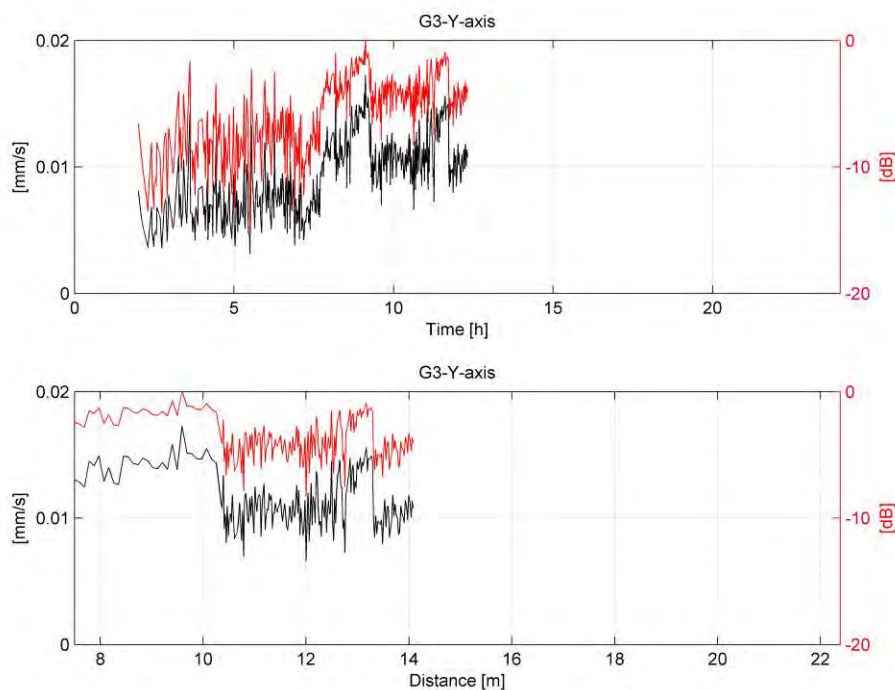


Figura 3.14. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G3.

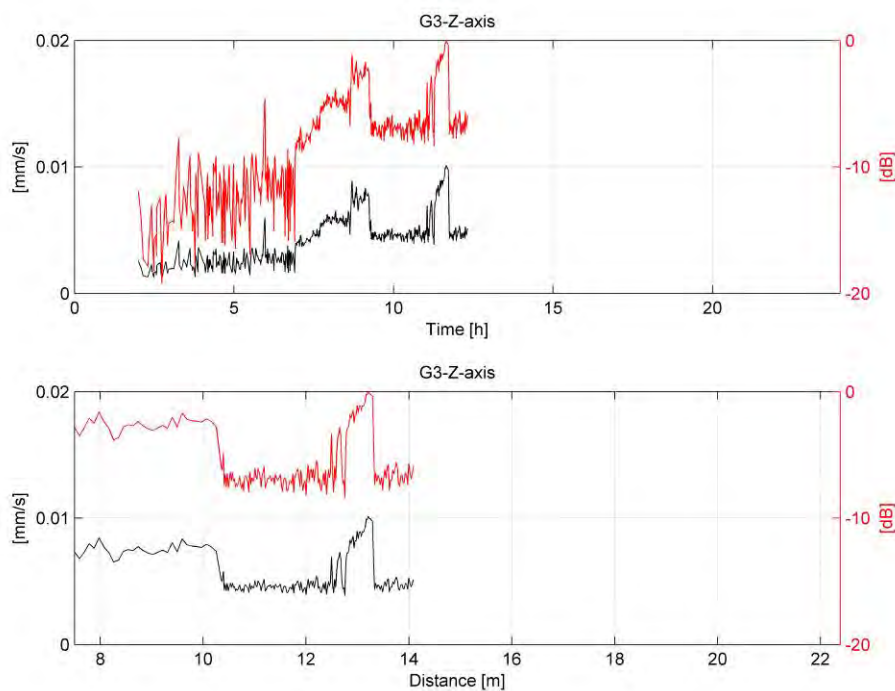


Figura 3.15. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G3.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 58 di 201	Rev. 0

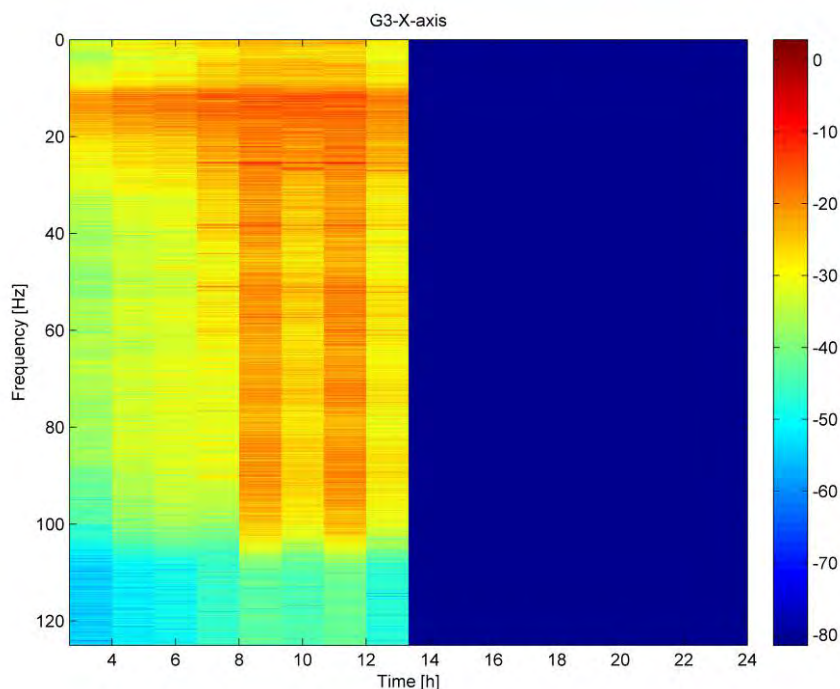


Figura 3.16. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G3.*

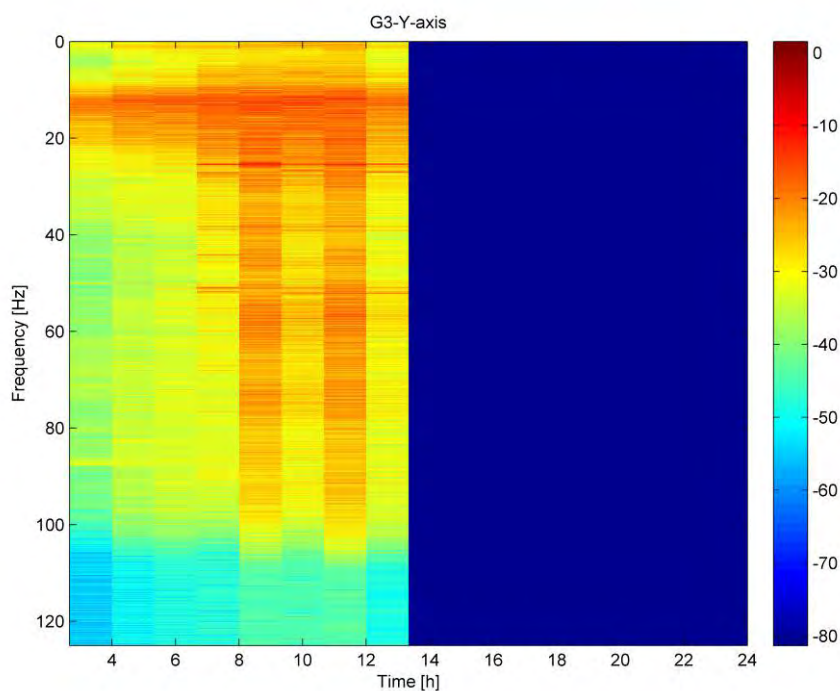


Figura 3.17. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G3.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 59 di 201	Rev. 0

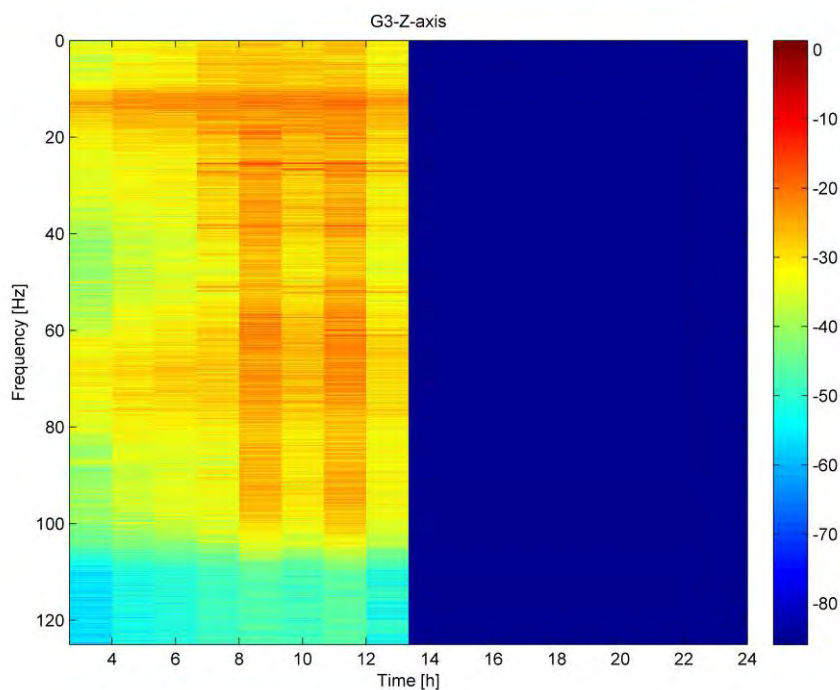


Figura 3.18. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G3.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 60 di 201	Rev. 0

Tab. 3.2. Valori RMS dei segnali acquisiti dal geofono G2.

Geofono G2	Asse x	Asse y	Asse z
<i>Velocità in assenza di attività [mm/s]</i>	0.005	0.009	0.004
<i>Velocità in presenza di attività [mm/s]</i>	0.030	0.040	0.020
<i>Velocità nella fase di spinta [mm/s]</i>	0.150	0.110	0.070

Tab. 3.3. Valori RMS dei segnali acquisiti dal geofono G3.

Geofono G3	Asse x	Asse y	Asse z
<i>Velocità in assenza di attività [mm/s]</i>	0.006	0.007	0.002
<i>Velocità in presenza di attività [mm/s]</i>	0.010	0.010	0.005
<i>Velocità nella fase di spinta [mm/s]</i>	0.020	0.014	0.009

La stima del decadimento dell'onda vibrazionale propagatasi nell'area compresa fra i geofoni G2 e G3 è pari a 0.6dB/m per l'asse longitudinale, trasversale e verticale.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 61 di 201	Rev. 0

3.4 Valutazione dell'attenuazione nell'area compresa fra G6 e G7 durante l'avvicinamento della TBM a G6

In questo paragrafo viene stimata l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e propagatasi nel terreno dell'area compresa fra i geofoni G6 e G7.

Dapprima è stimato il livello RMS dei segnali acquisiti dai geofoni G6 e G7 quando la testa della TBM si avvicina al geofono G6 (11-05-2010); in seguito viene calcolato il rapporto di tali valori, espresso in dB. Questo ultimo valore, diviso per la differenza fra la distanza di G6 dalla testa della TBM e la distanza di G7 dalla testa della TBM (27 m circa), restituisce il valore dell'attenuazione da stimare.

Tab. 3.4. Valori RMS dei segnali acquisiti dal geofono G6.

Geofono G6	Asse x	Asse y	Asse z
<i>Velocità in assenza di attività [mm/s]</i>	0.02	0.02	0.01
<i>Velocità in presenza di attività [mm/s]</i>	0.03	0.04	0.03
<i>Velocità nella fase di spinta [mm/s]</i>	0.50	0.42	0.31

Tab. 3.5. Valori RMS dei segnali acquisiti dal geofono G7.

Geofono G7	Asse x	Asse y	Asse z
<i>Velocità in assenza di attività [mm/s]</i>	0.01	0.01	0.01
<i>Velocità in presenza di attività [mm/s]</i>	0.02	0.02	0.02
<i>Velocità nella fase di spinta [mm/s]</i>	0.04	0.05	0.04

La stima del decadimento dell'onda vibrazionale propagatasi nell'area compresa fra i geofoni G6 e G7 è pari a 0.8dB/m per l'asse longitudinale ed a 0.7dB/m per l'asse trasversale e per l'asse verticale.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 62 di 201	Rev. 0

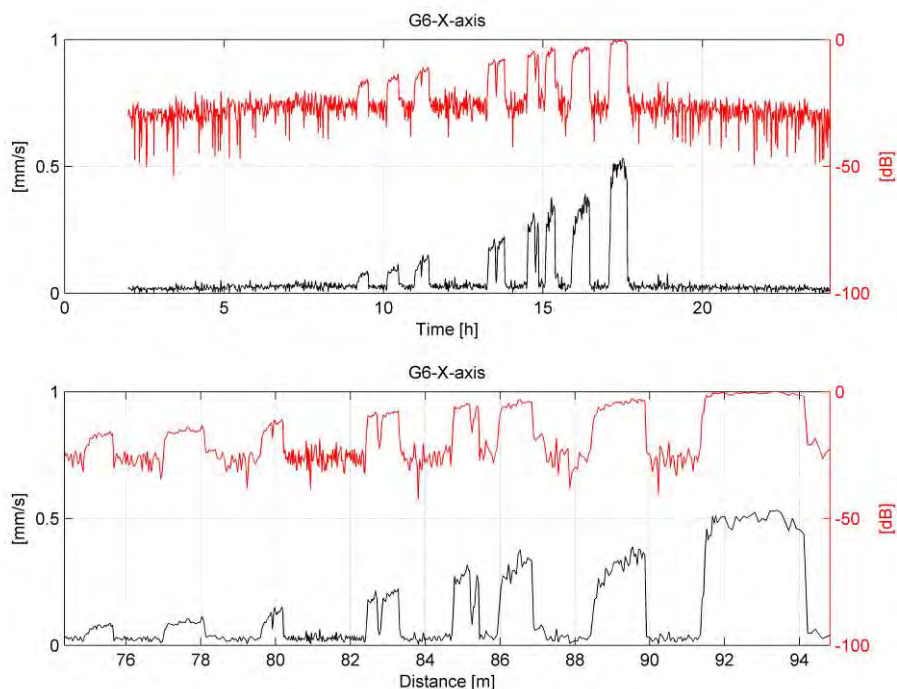


Figura 3.19. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G6.

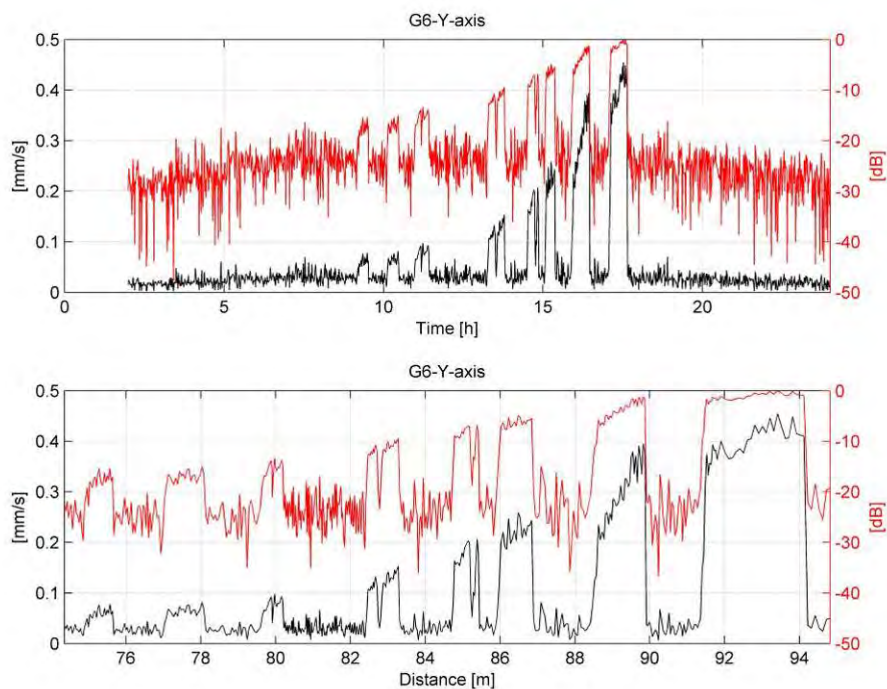


Figura 3.20. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G6.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 63 di 201	Rev. 0

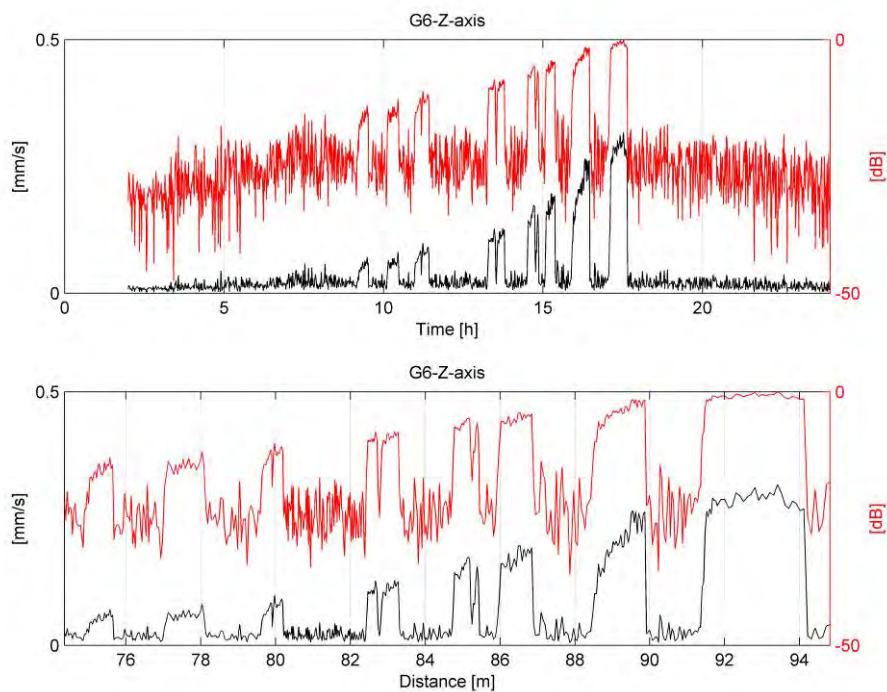
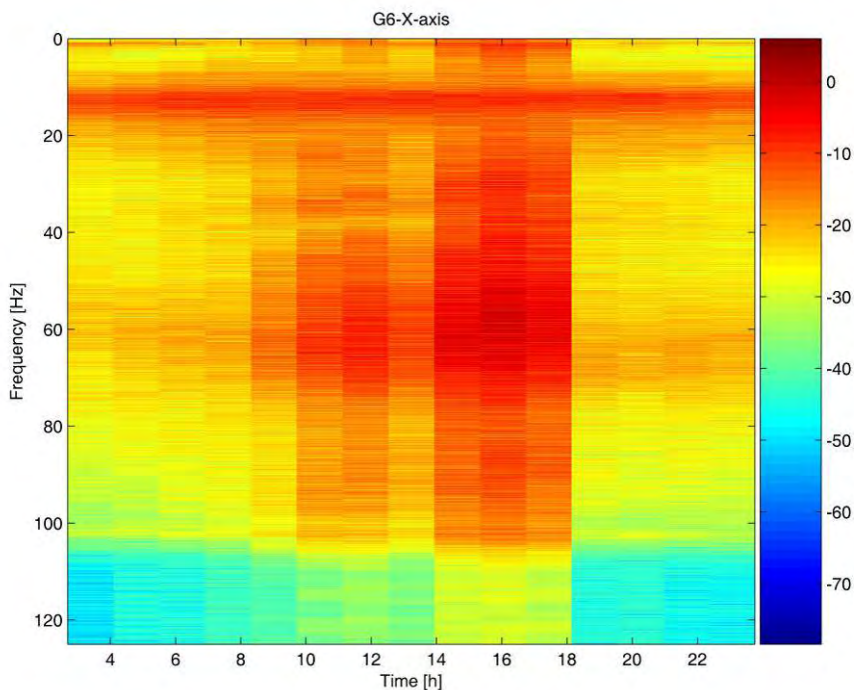


Figura 3.21. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G6.



 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 64 di 201	Rev. 0

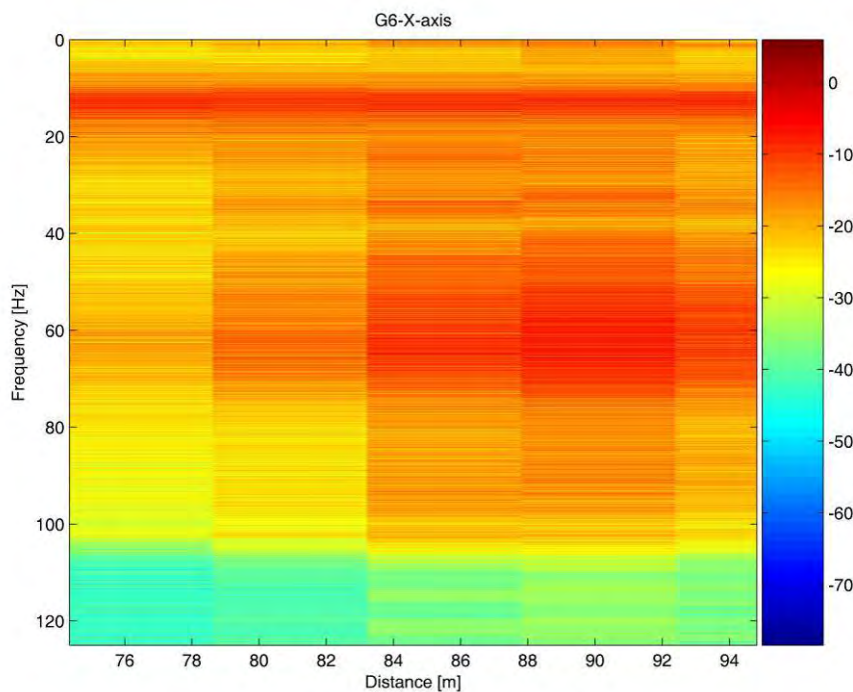
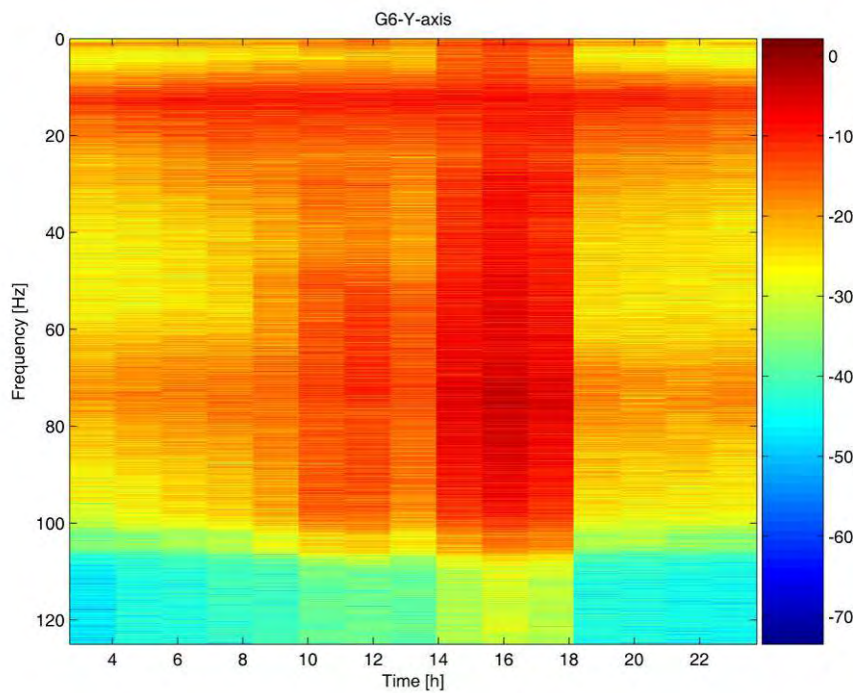


Figura 3.22. Spettrogrammi del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G6.



 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 65 di 201	Rev. 0

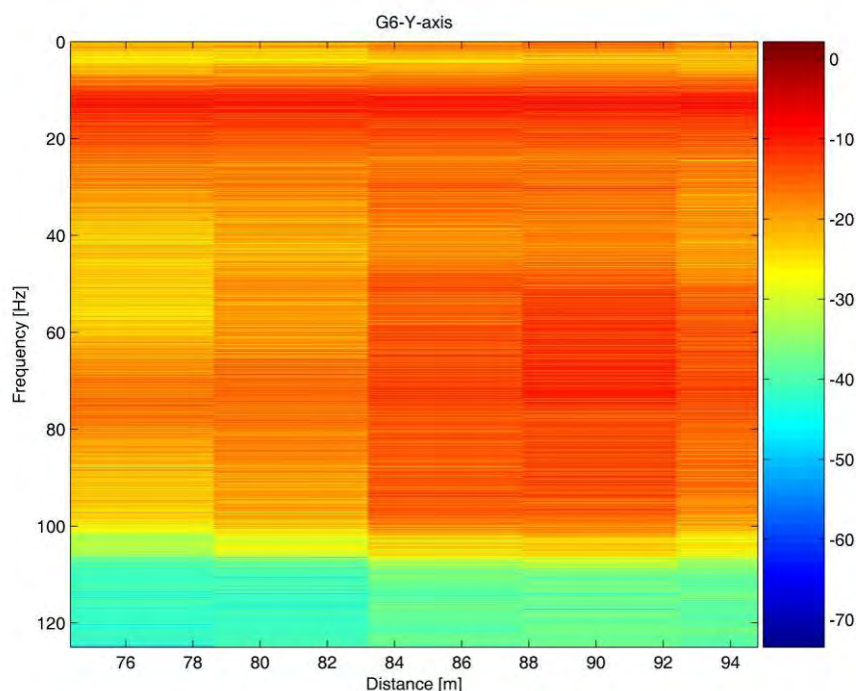
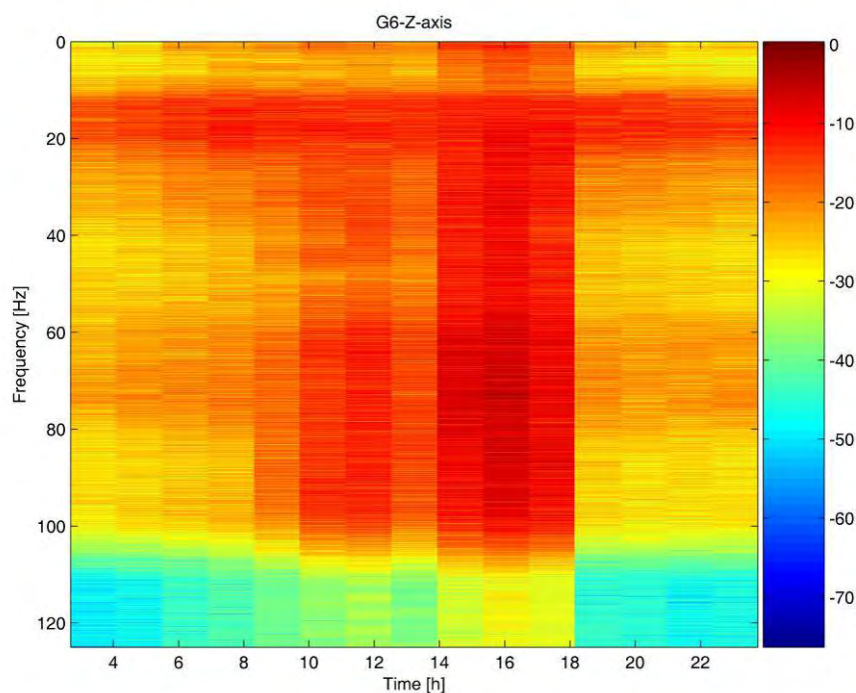


Figura 3.23. Spettrogrammi del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G6.



 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 66 di 201	Rev. 0

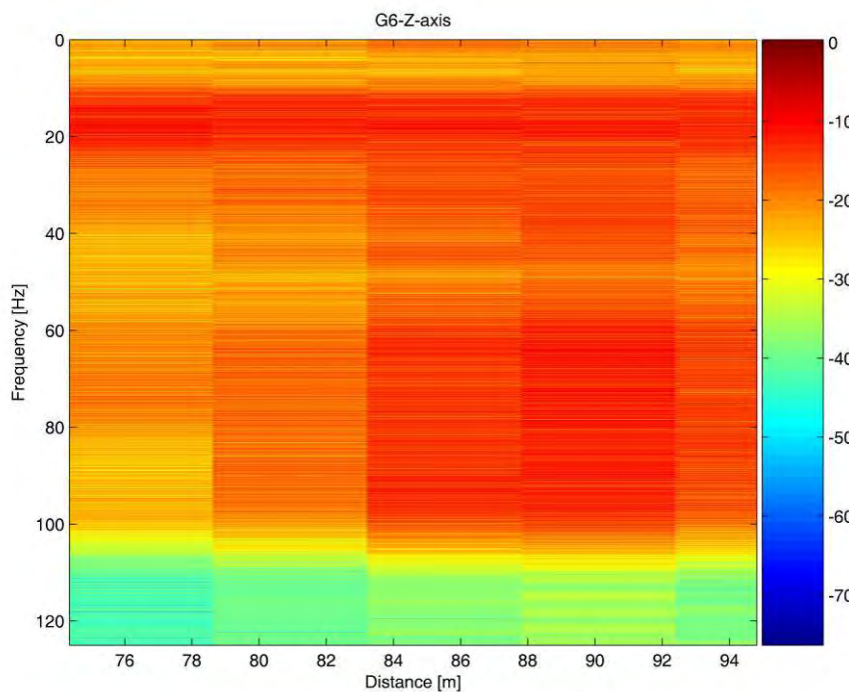


Figura 3.24. Spettrogrammi del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G6.

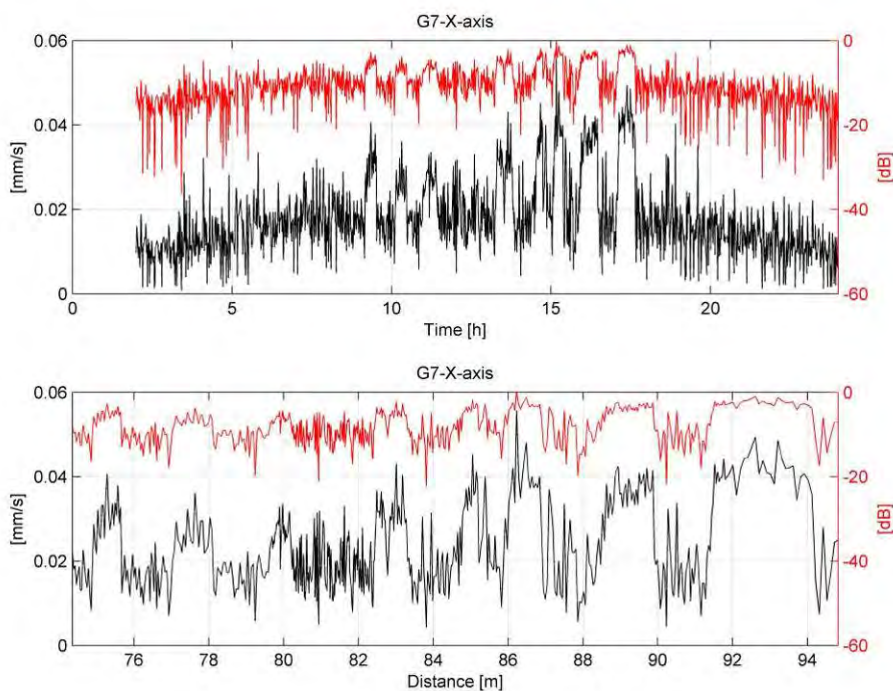


Figura 3.25. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G7.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 67 di 201	Rev. 0

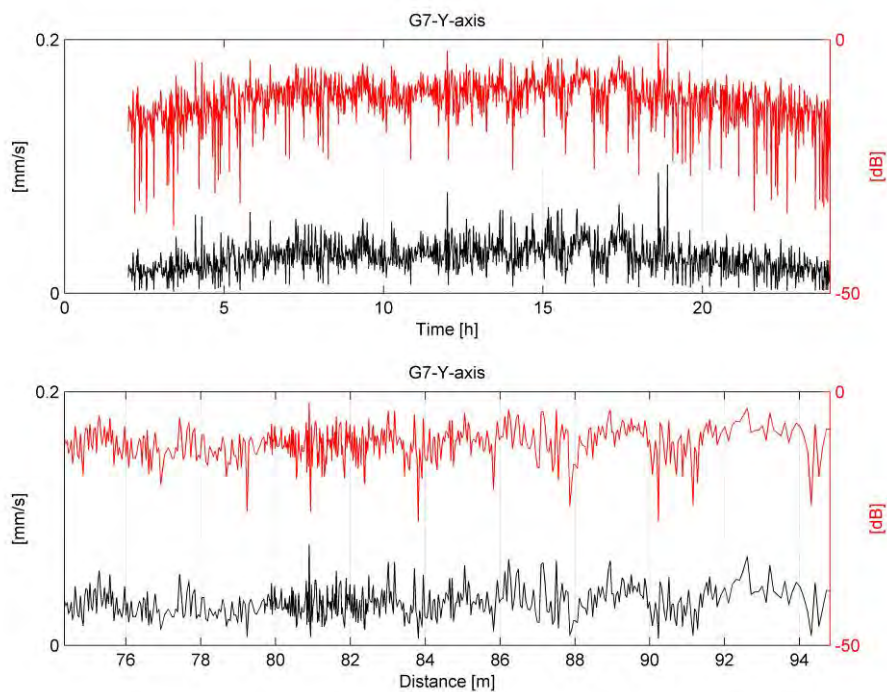


Figura 3.26. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G7.

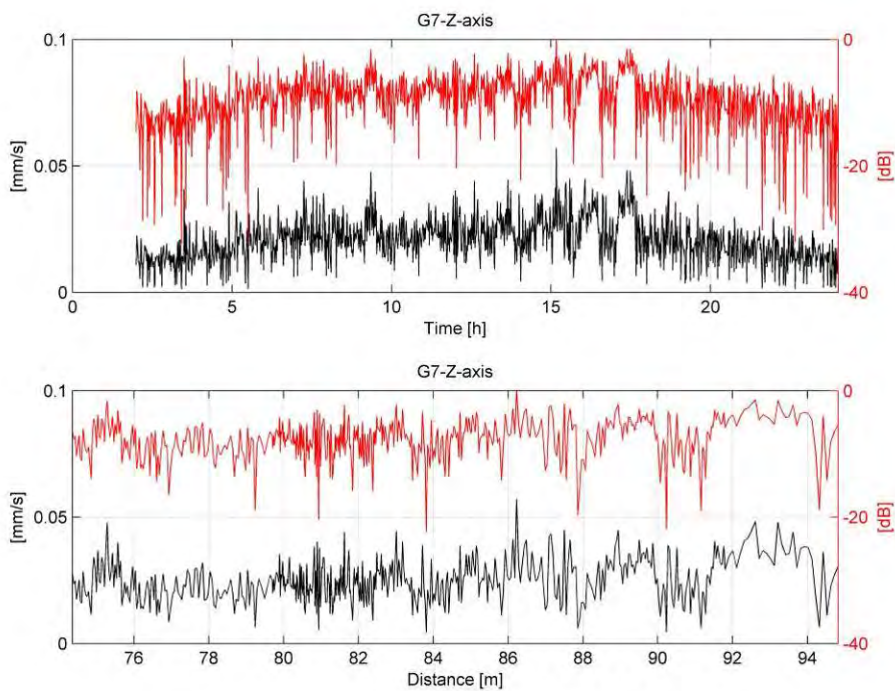


Figura 3.27. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G7.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 68 di 201	Rev. 0

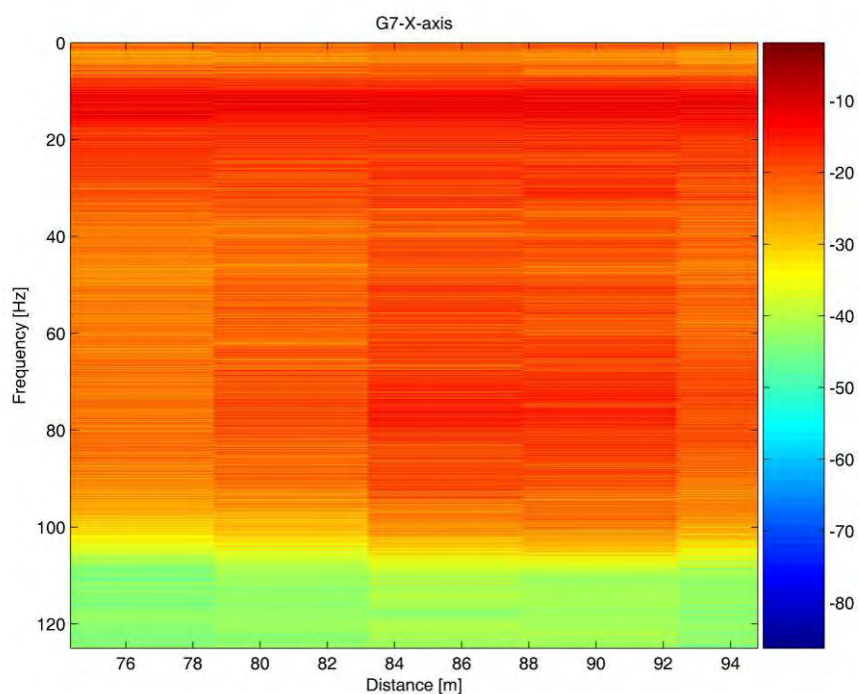
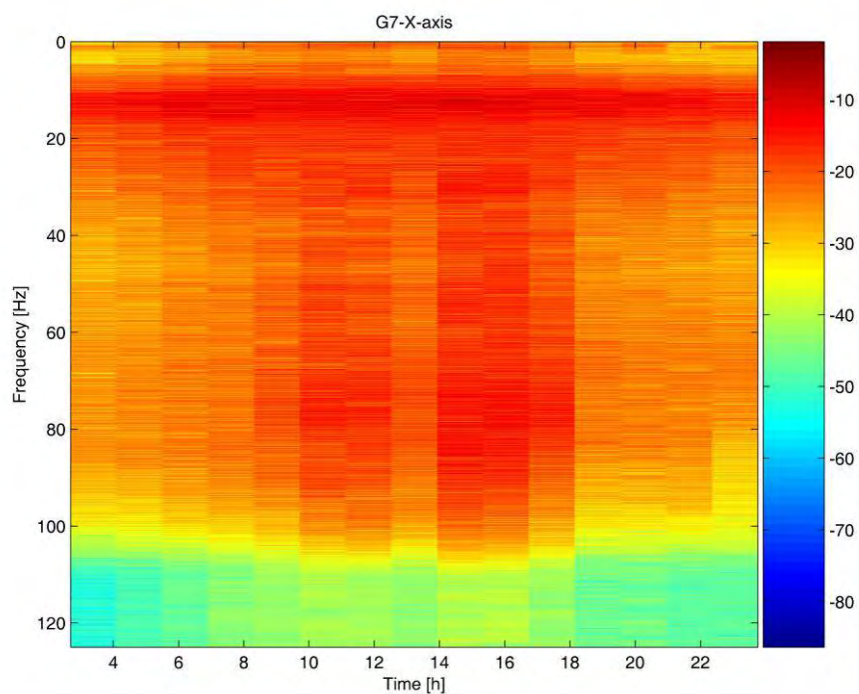


Figura 3.28. *Spetrogrammi del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G7.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 69 di 201	Rev. 0

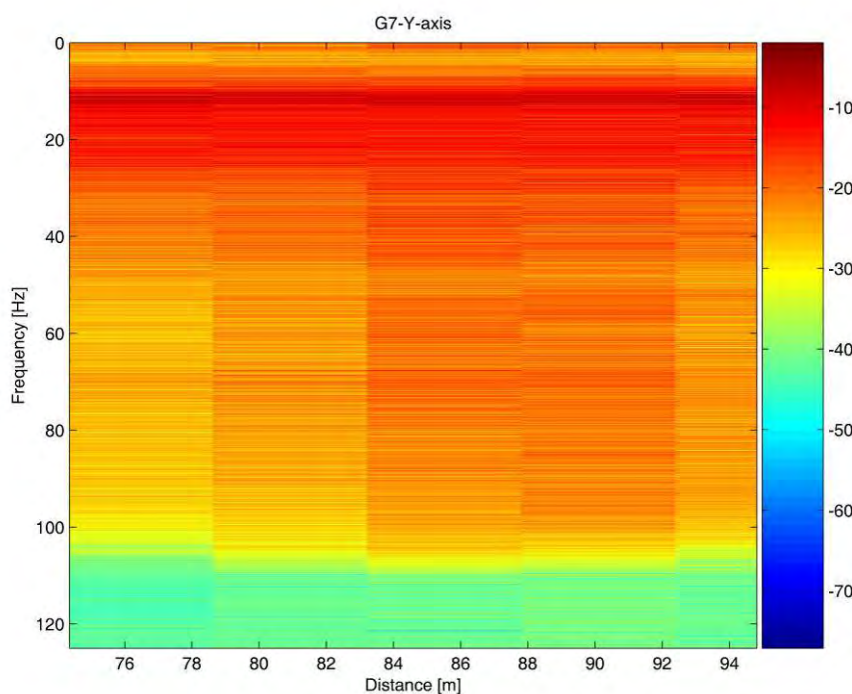
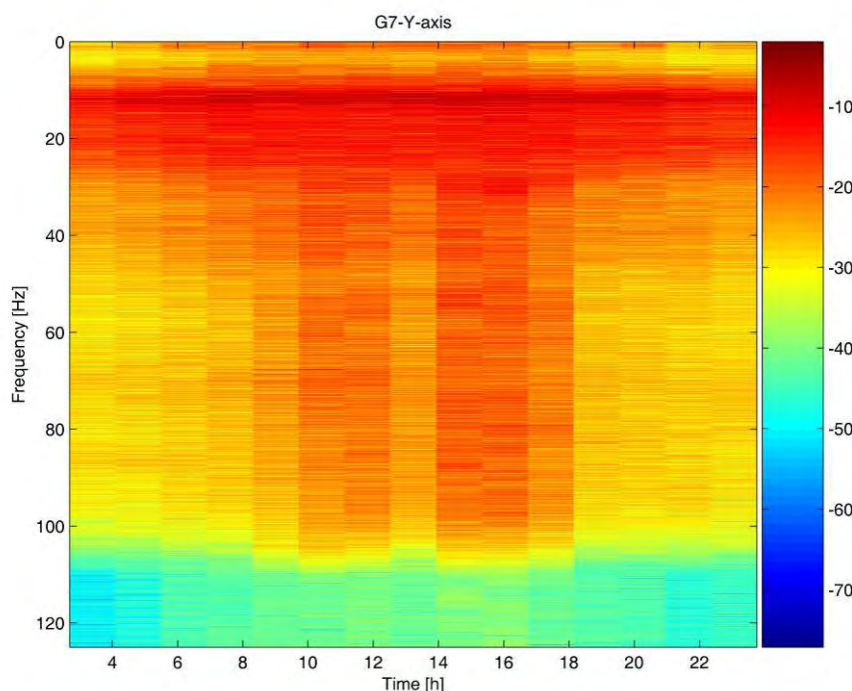


Figura 3.29. *Spetrogrammi del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G7.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 70 di 201	Rev. 0

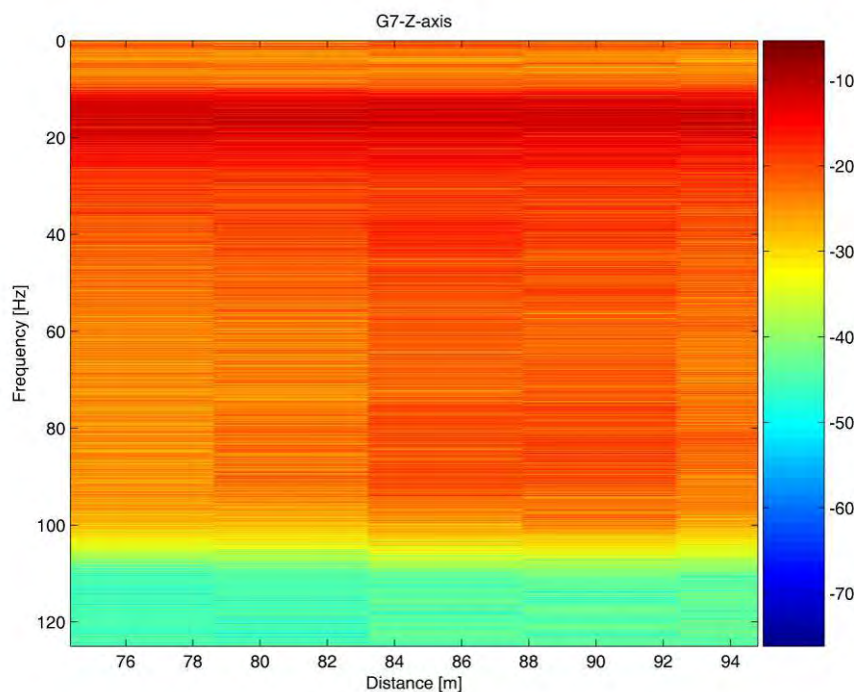
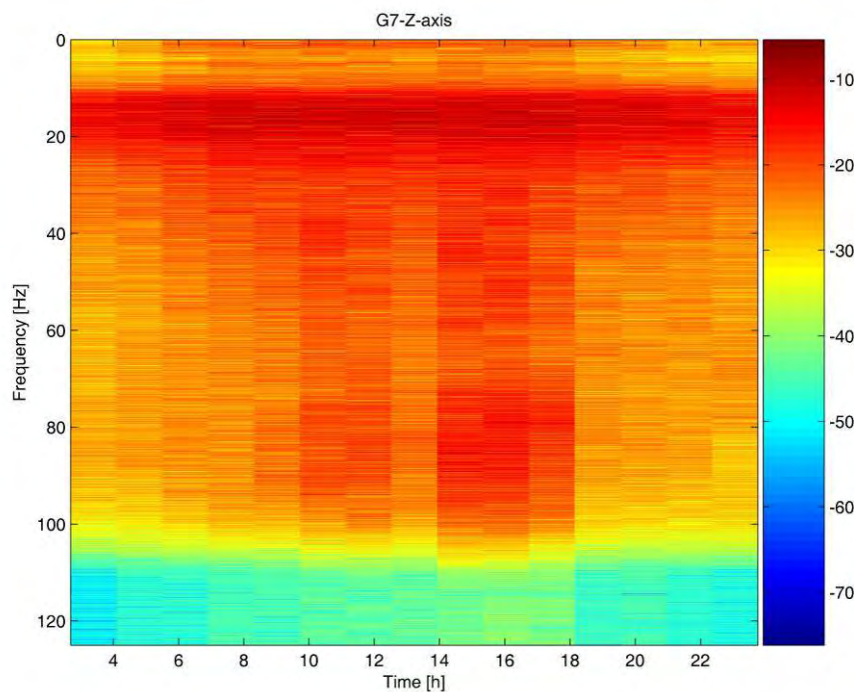


Figura 3.30. *Spettrogrammi del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G7.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 71 di 201	Rev. 0

3.5 Valutazione dell'attenuazione lungo i conci di calcestruzzo durante l'avvicinamento della TBM a G6

In questo paragrafo si propone una stima più accurata dell'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e propagata lungo i conci di calcestruzzo, utilizzando il segnale ricevuto dal geofono G1 quando la testa della TBM è in prossimità del geofono G6 (distanza di propagazione pari a circa 100 m).

La stima del decadimento è riportata nell'ultima riga della Tab. 3.6 ed è pari a 0.3dB/m per l'asse longitudinale e per l'asse trasversale ed a 0.4dB/m per l'asse verticale.

Tab. 3. 6. Valori RMS dei segnali acquisiti dal geofono G1.

Geofono G1	Asse x	Asse y	Asse z
<i>Velocità in assenza di attività [mm/s]</i>	0.002	0.002	0.002
<i>Velocità in presenza di attività [mm/s]</i>	0.007	0.01	0.004
<i>Velocità nella fase di spinta [mm/s]</i>	0.014	0.014	0.007
<i>Decadimento [dB/m]</i>	0.3	0.3	0.4

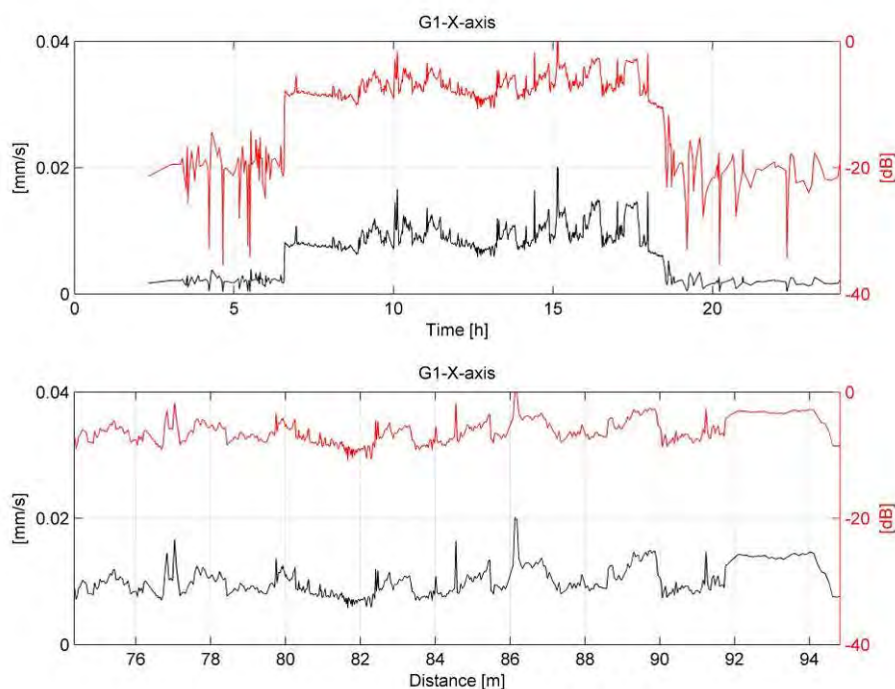


Figura 3.31. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G1.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 72 di 201	Rev. 0

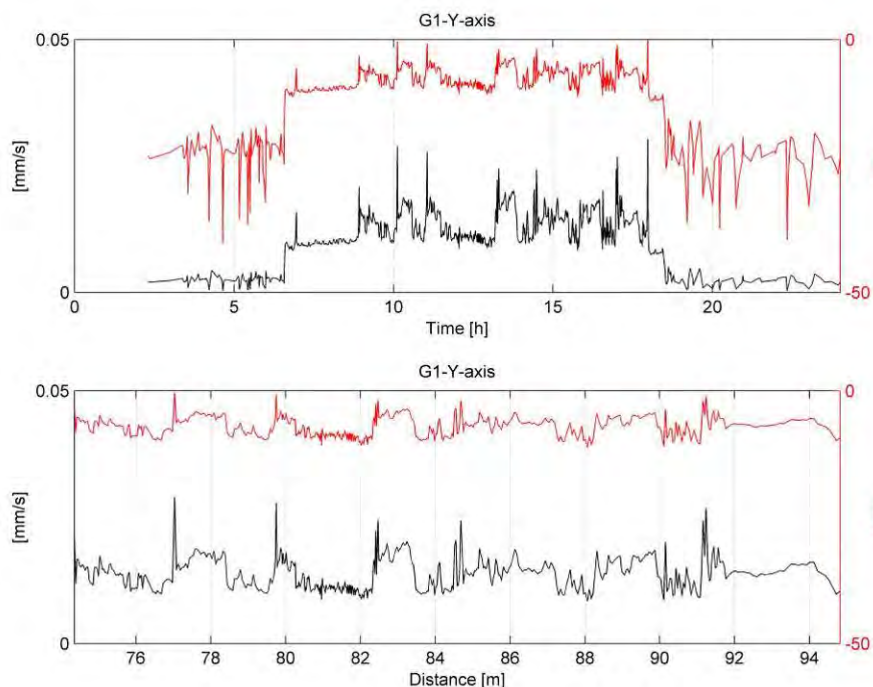


Figura 3.32. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G1.

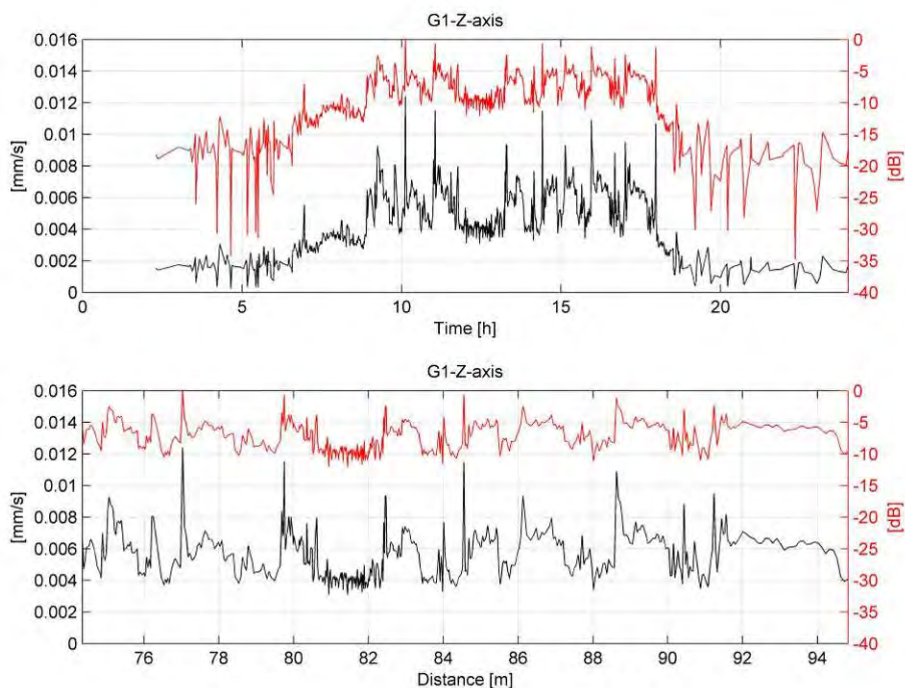


Figura 3.33. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G1.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 73 di 201	Rev. 0

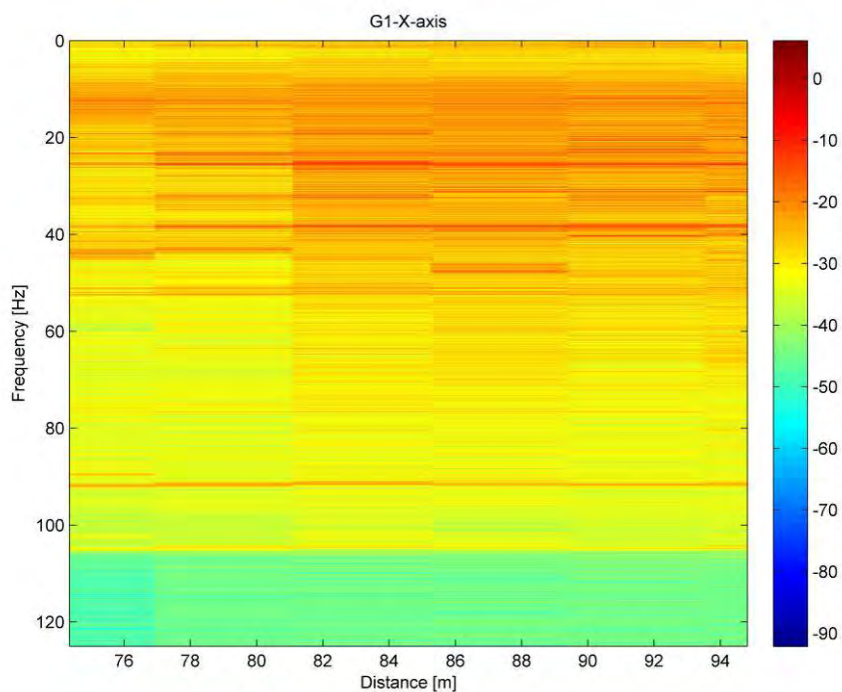
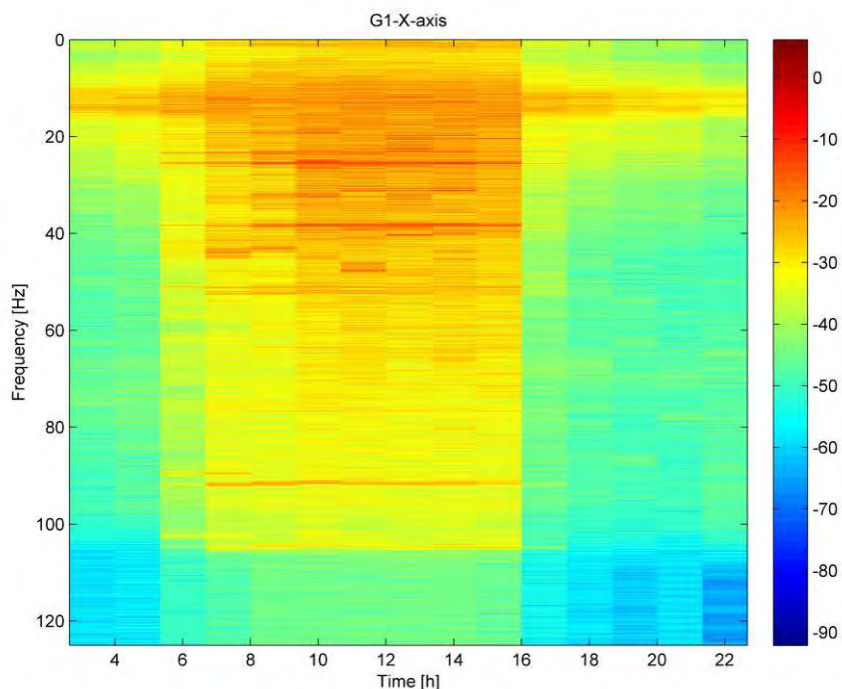


Figura 3.34. *Spettrogrammi del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G1.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 74 di 201	Rev. 0

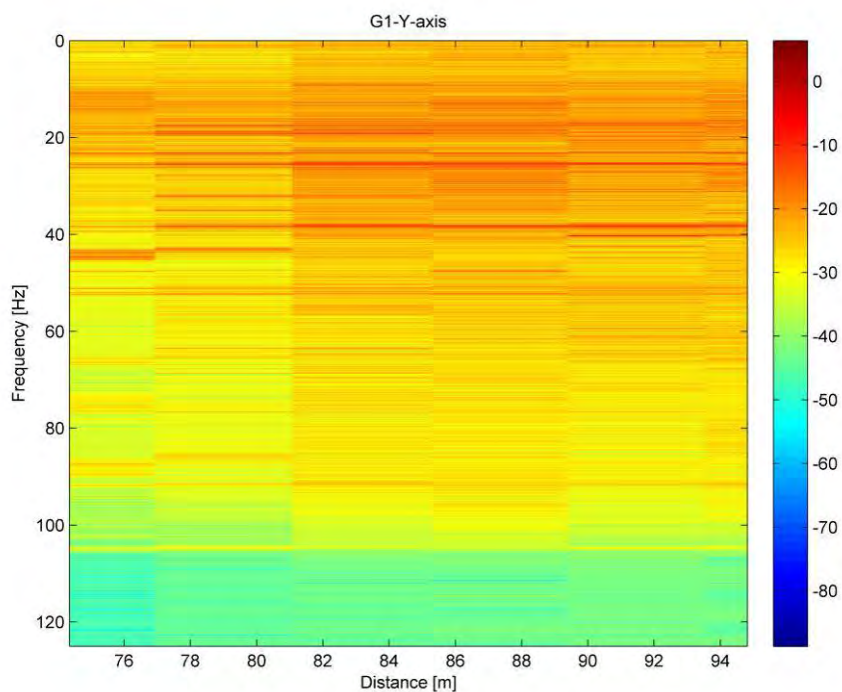
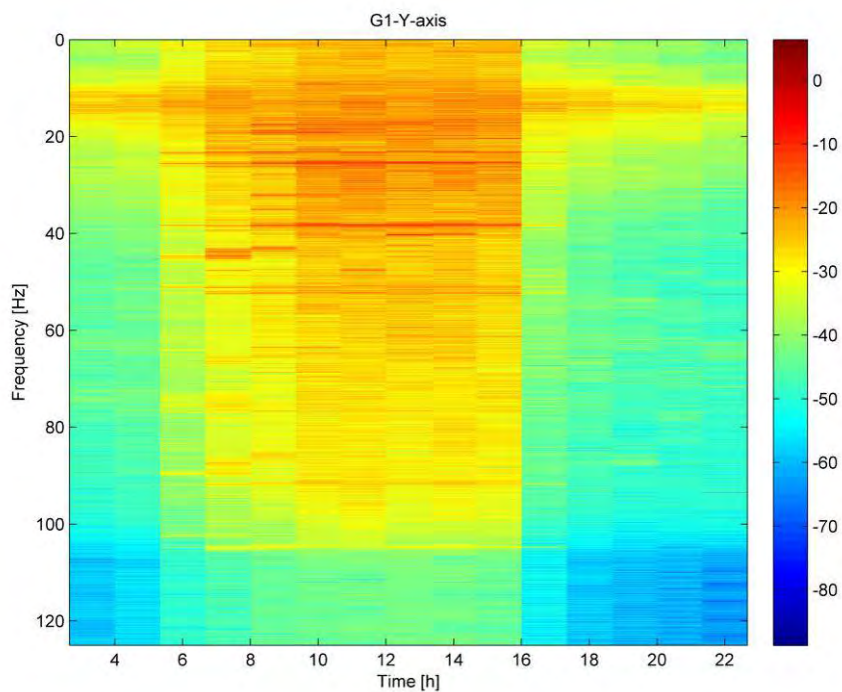


Figura 3.35. *Spetrogrammi del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G1.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 75 di 201	Rev. 0

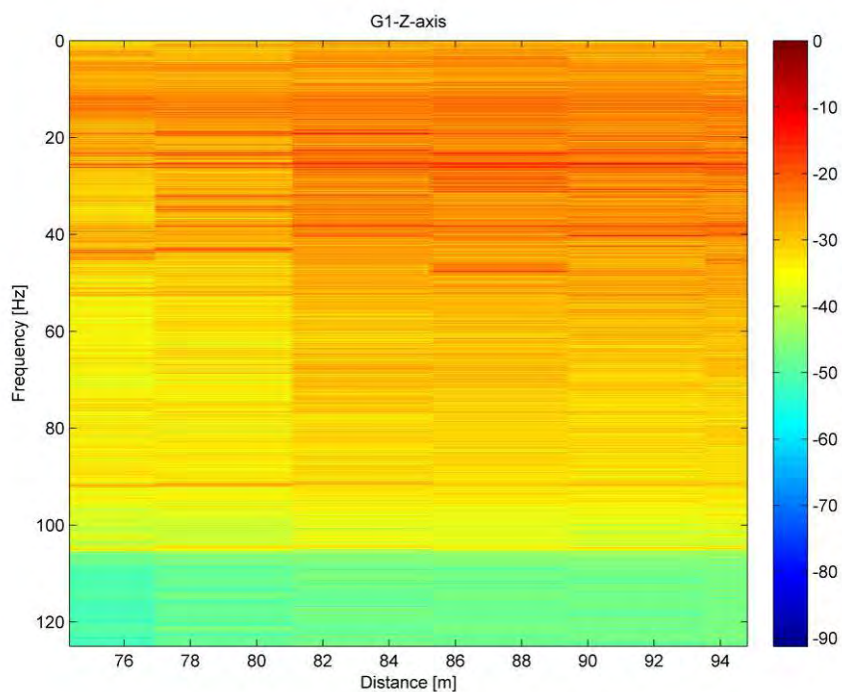
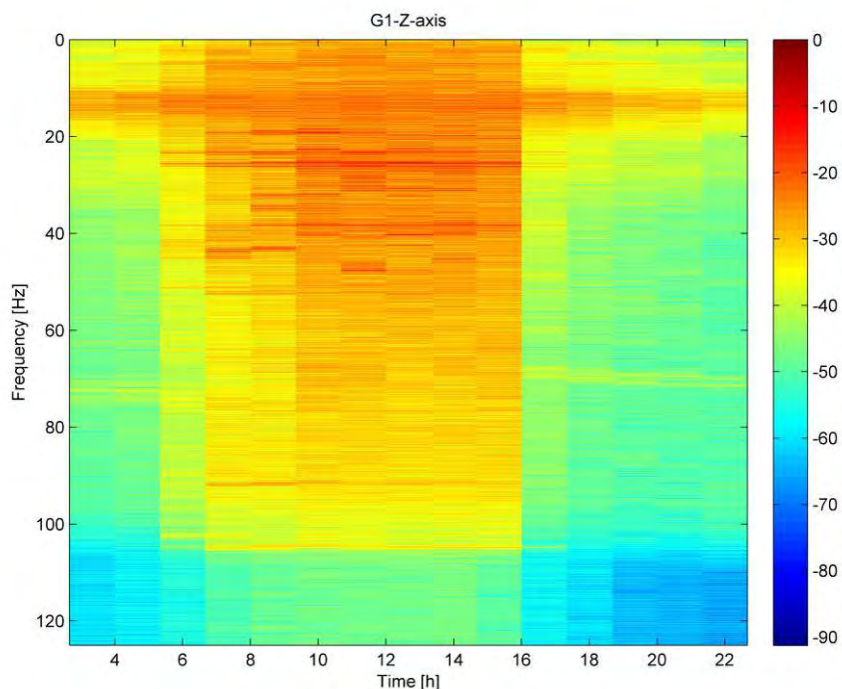


Figura 3.36. *Spettrogrammi del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G1.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 76 di 201	Rev. 0

3.6 Valutazione dell'attenuazione nell'area compresa fra G6 e G7 durante l'allontanamento della TBM da G6

In questo paragrafo viene stimata l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e propagatasi nel terreno dell'area compresa fra i geofoni G6 e G7. Dapprima viene stimato il livello RMS dei segnali acquisiti dai geofoni G6 e G7 quando la testa della TBM si allontana dal geofono G6 (12-05-2010); in seguito viene calcolato il rapporto di tali valori, espresso in dB. Questo ultimo valore, diviso per la differenza fra la distanza di G6 dalla testa della TBM e la distanza di G7 dalla testa della TBM (27m circa), restituisce il valore dell'attenuazione da stimare.

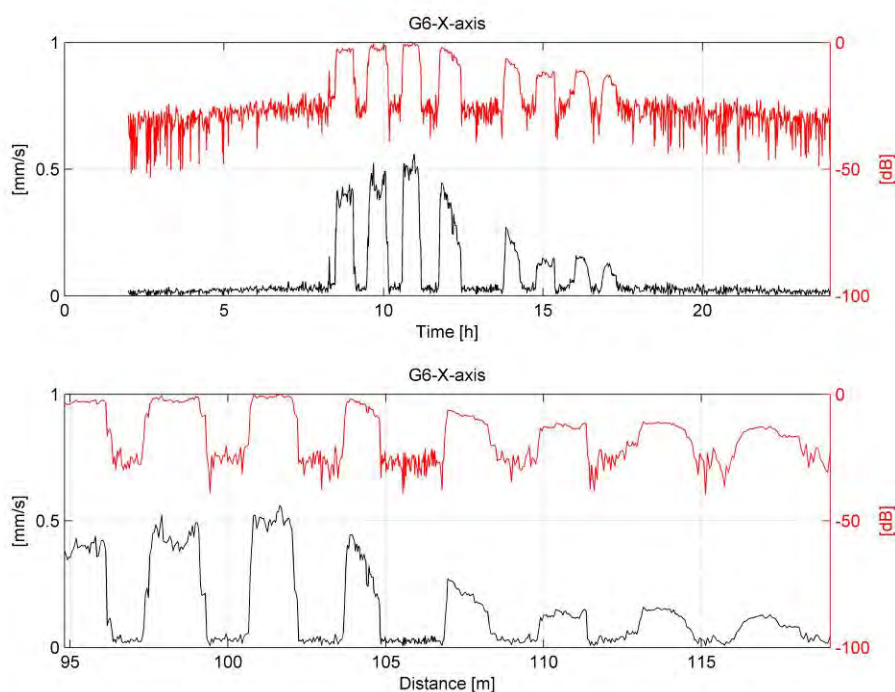


Figura 3.37. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G6.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 77 di 201	Rev. 0

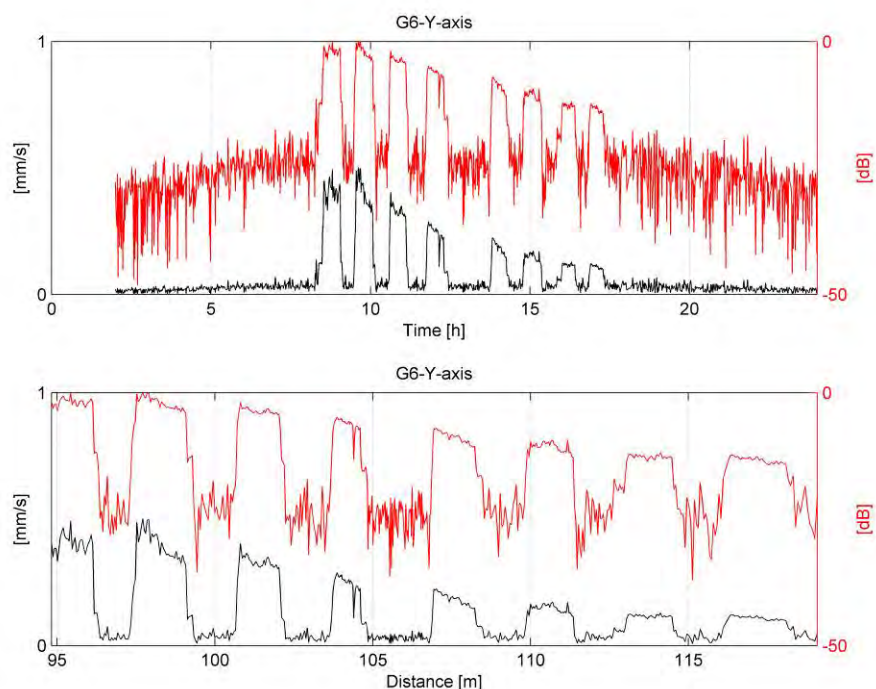


Figura 3.38. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G6.

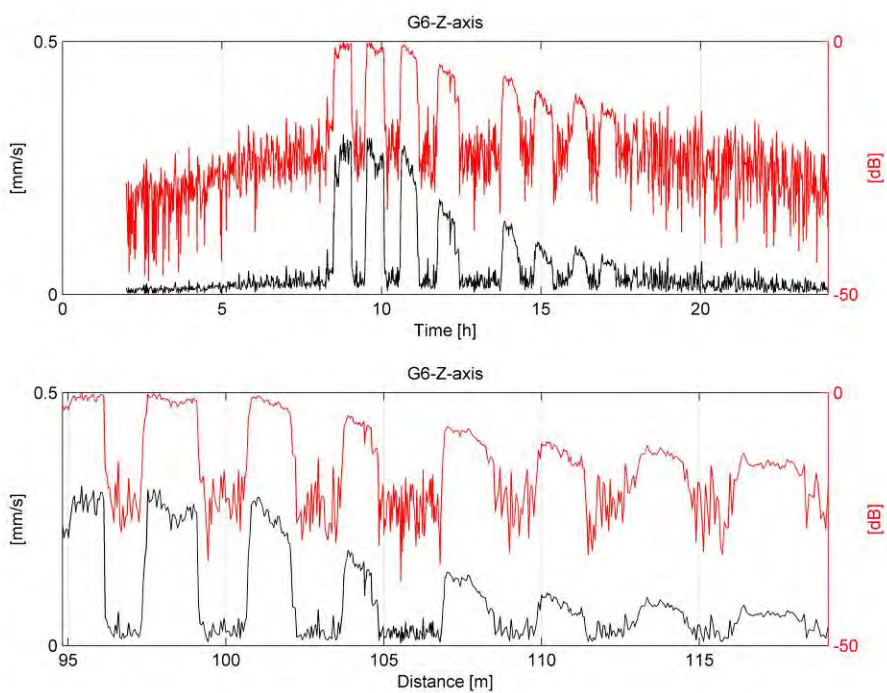


Figura 3.39. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G6.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 78 di 201	Rev. 0

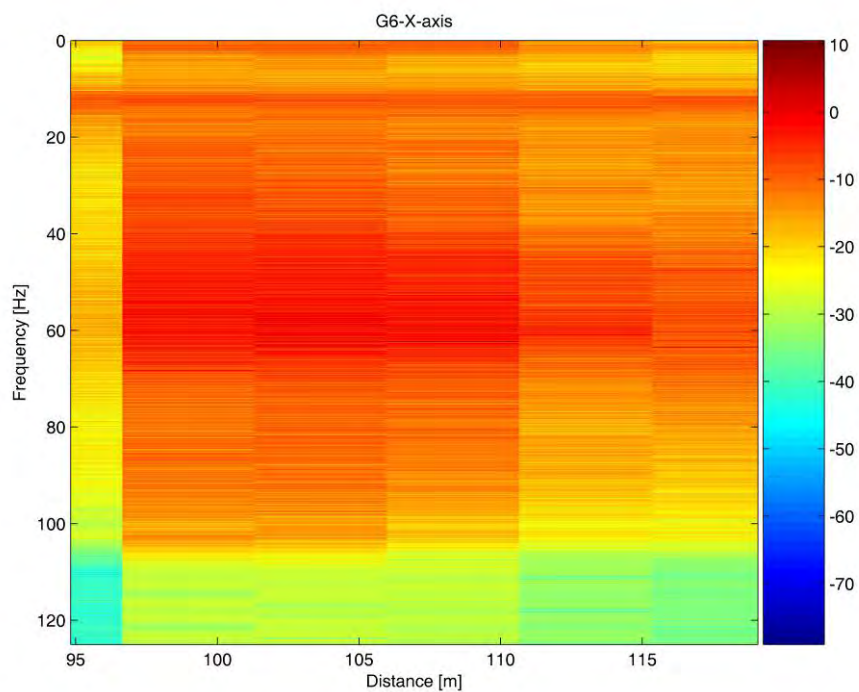
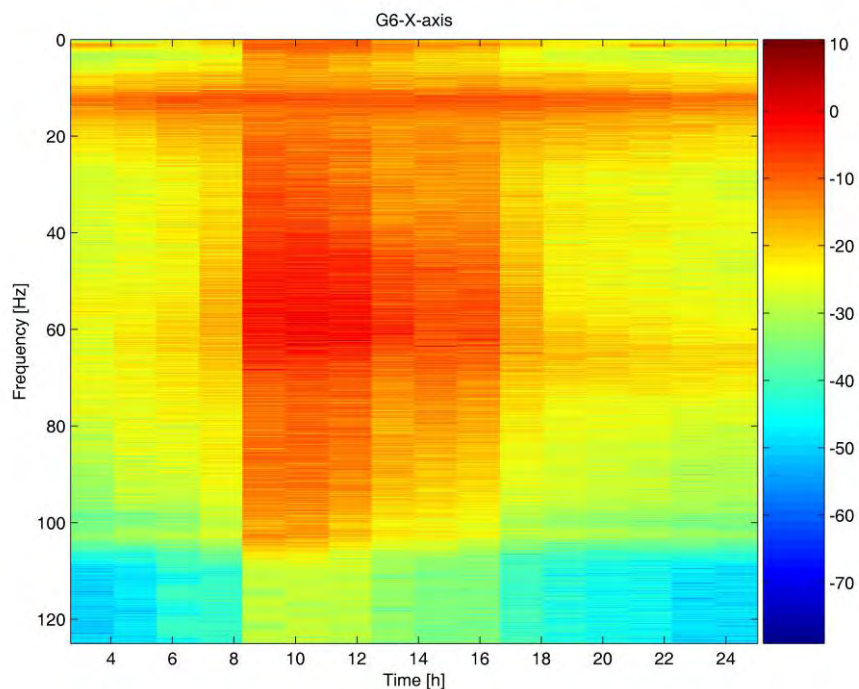


Figura 3.40. *Spetrogrammi del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G6.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 79 di 201	Rev. 0

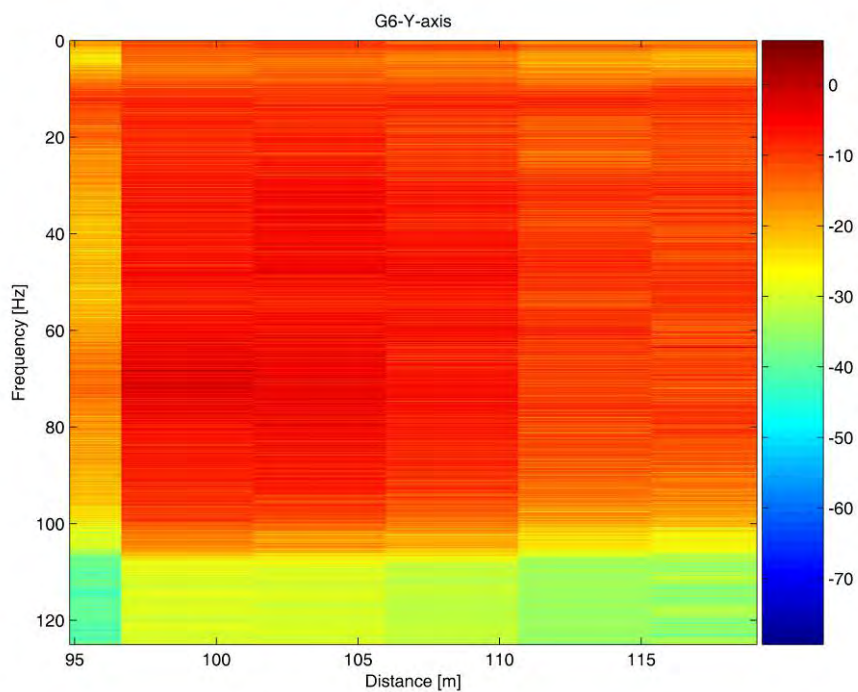
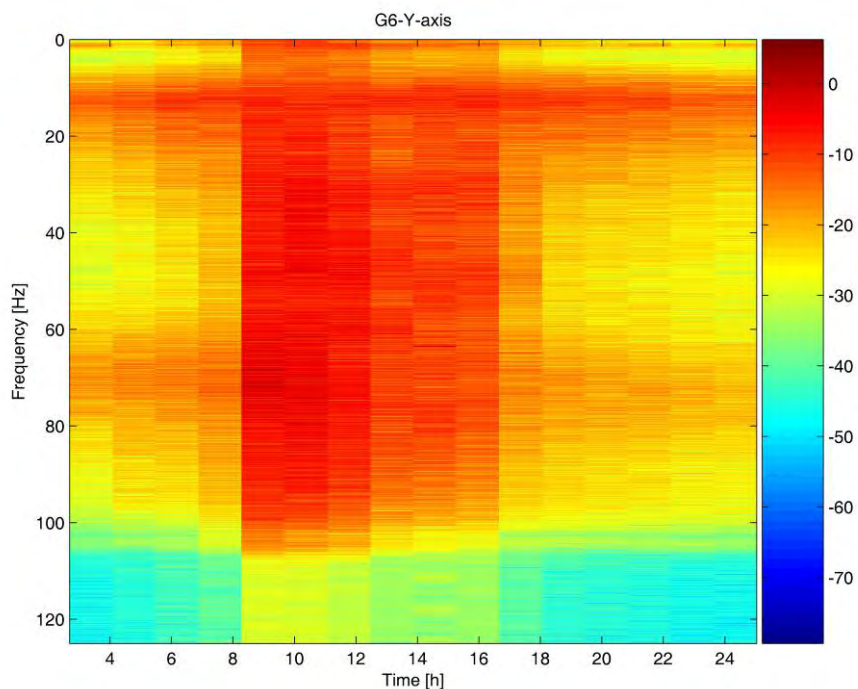


Figura 3.41. *Spetrogrammi del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G6.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 80 di 201	Rev. 0

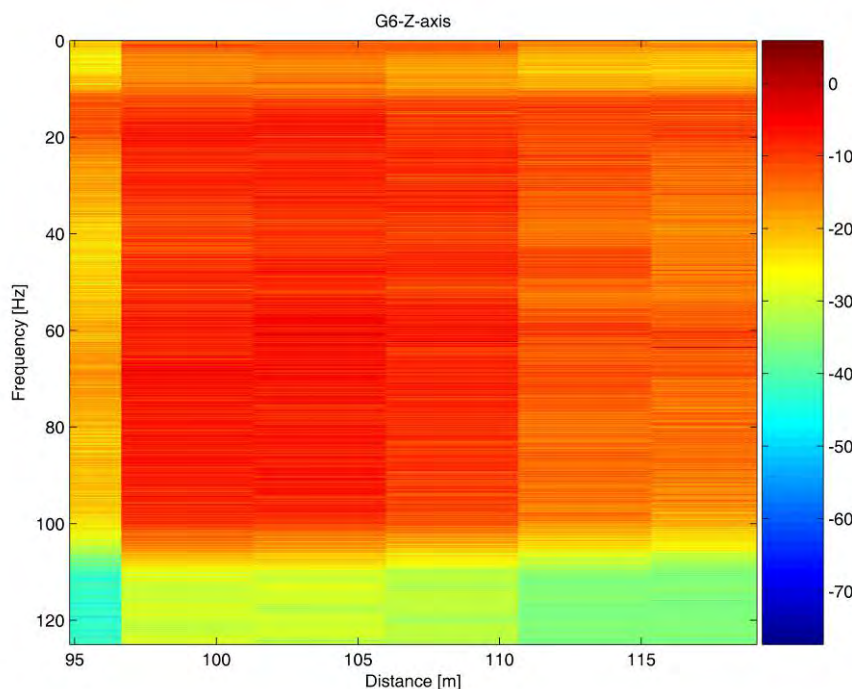
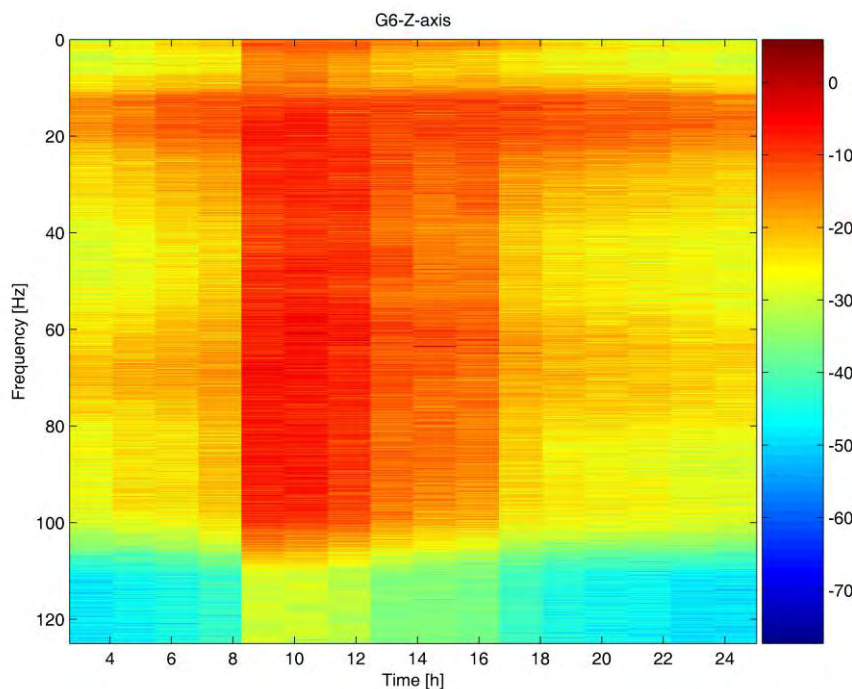


Figura 3.42. *Spettrogrammi del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G6.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 81 di 201	Rev. 0

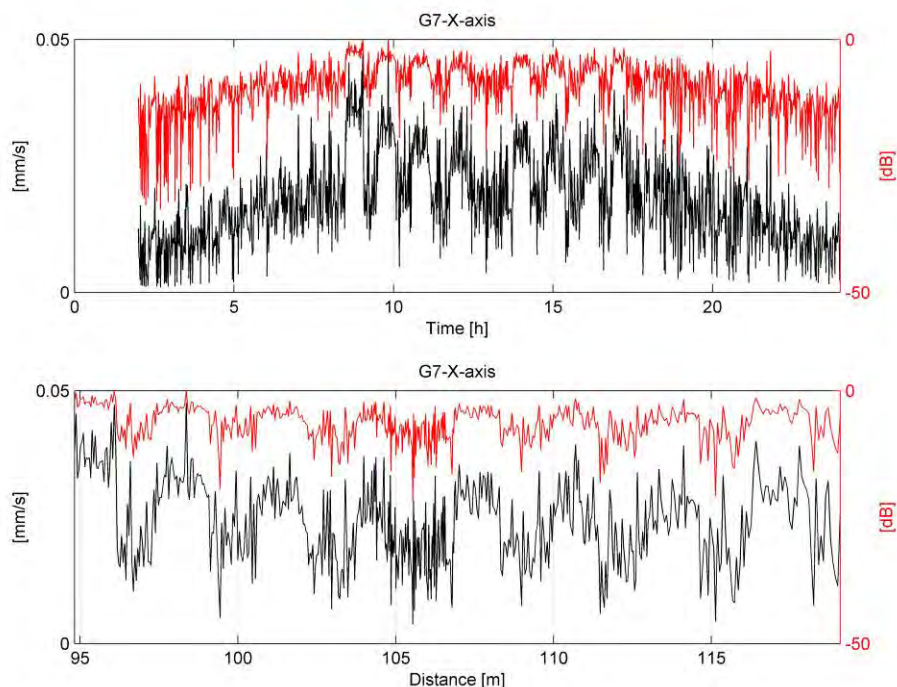


Figura 3.43. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G7.

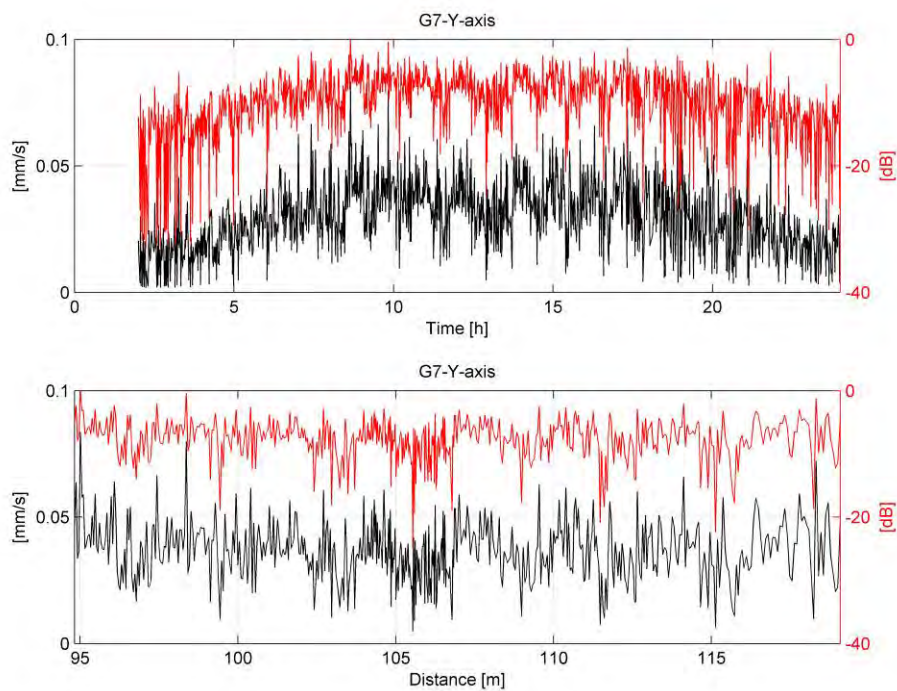


Figura 3.44. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G7.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 82 di 201	Rev. 0

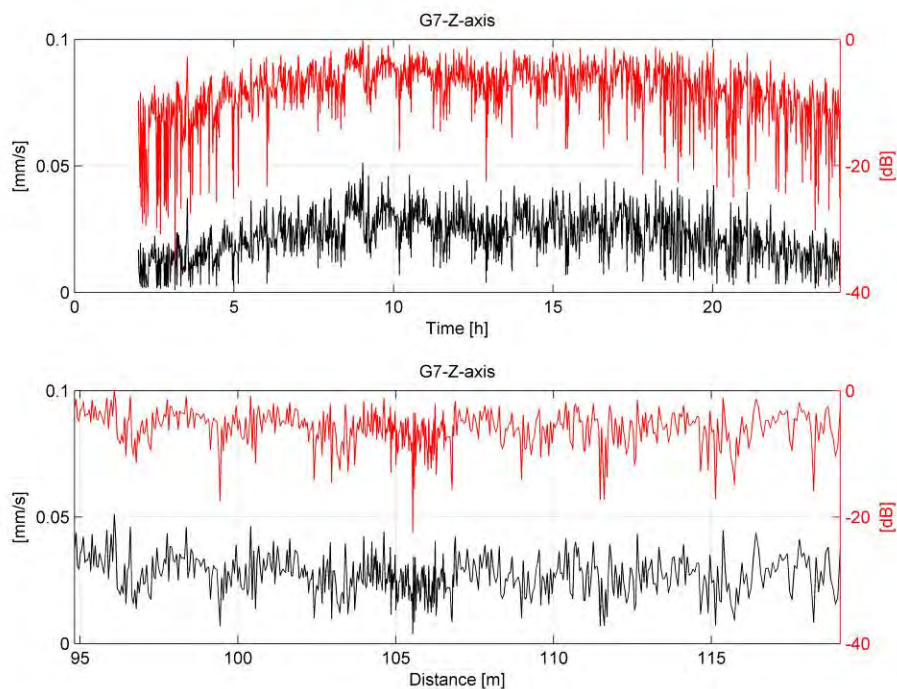


Figura 3.45. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G7.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 83 di 201	Rev. 0

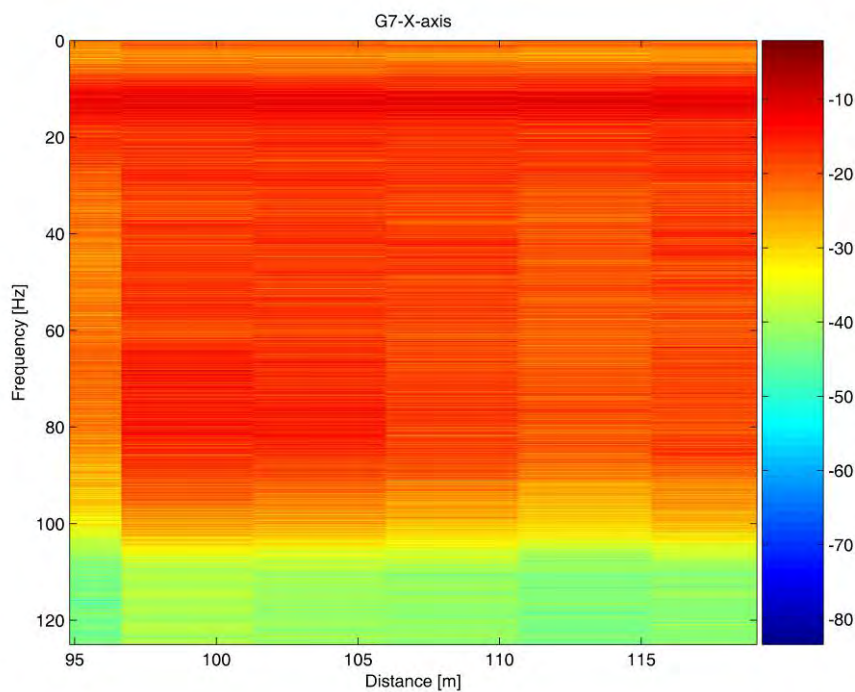
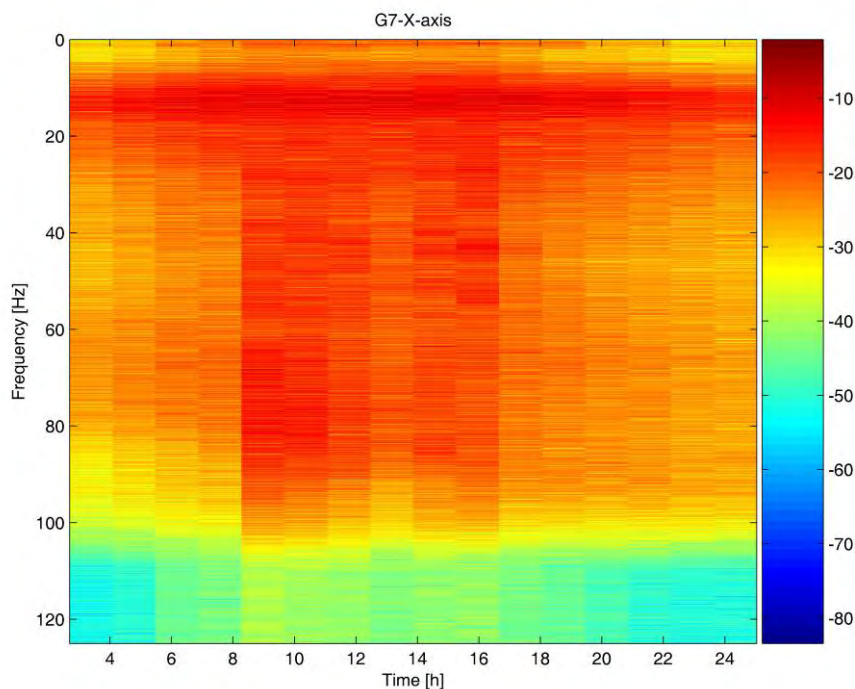


Figura 3.46. *Spetrogrammi del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G7.*

	PROGETTISTA 		COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 84 di 201	Rev. 0

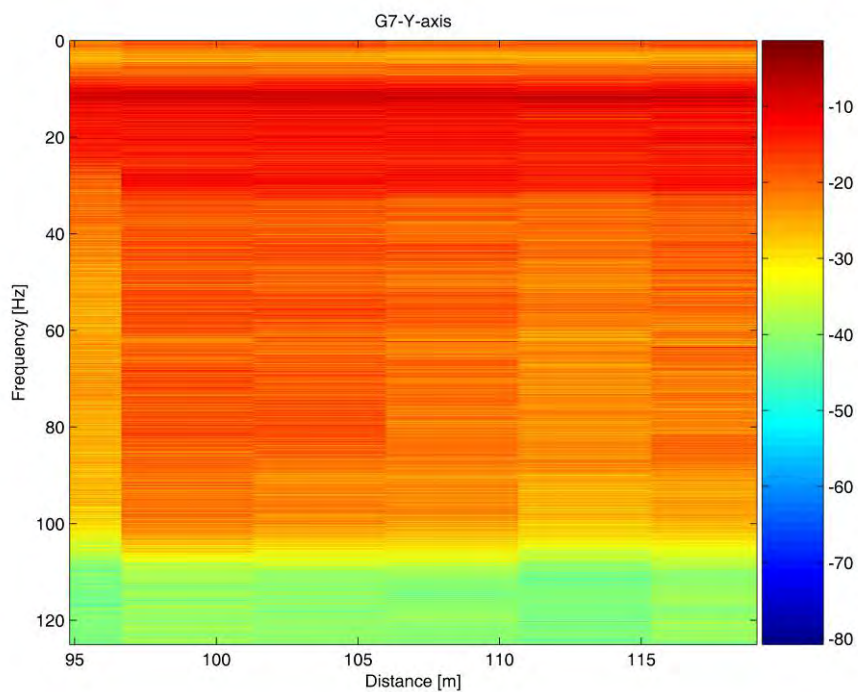
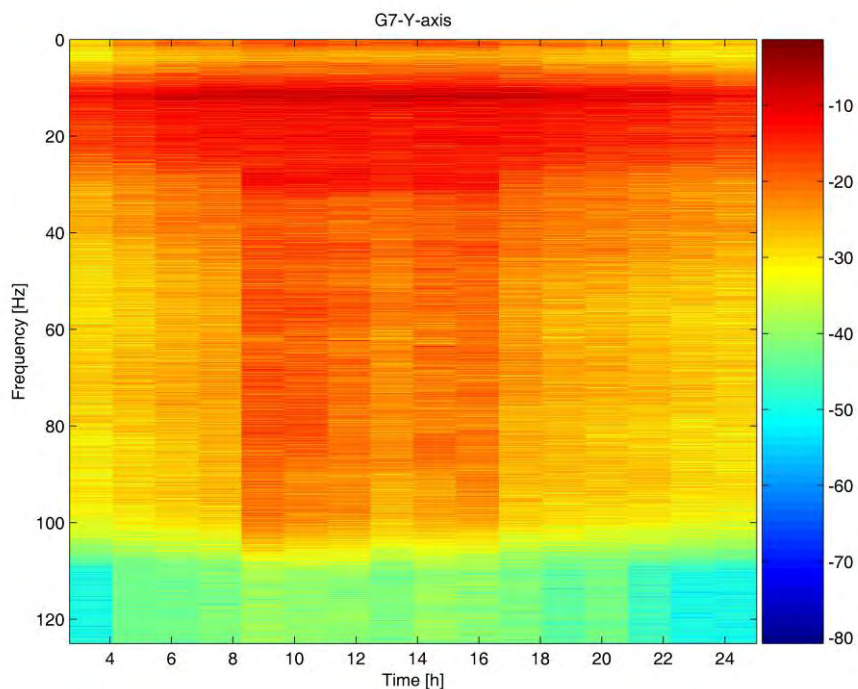


Figura 3.47. *Spetrogrammi del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G7.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 85 di 201	Rev. 0

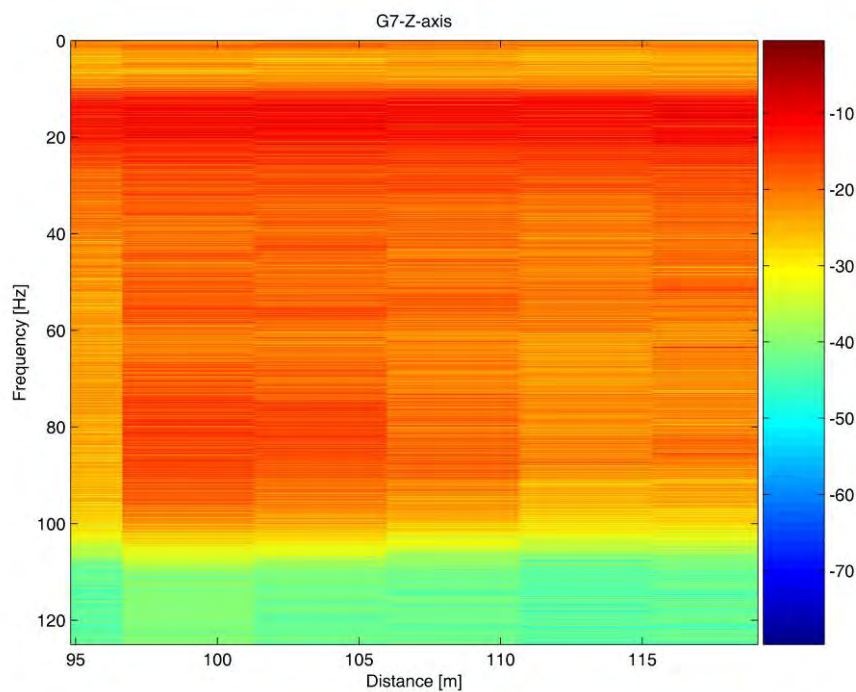
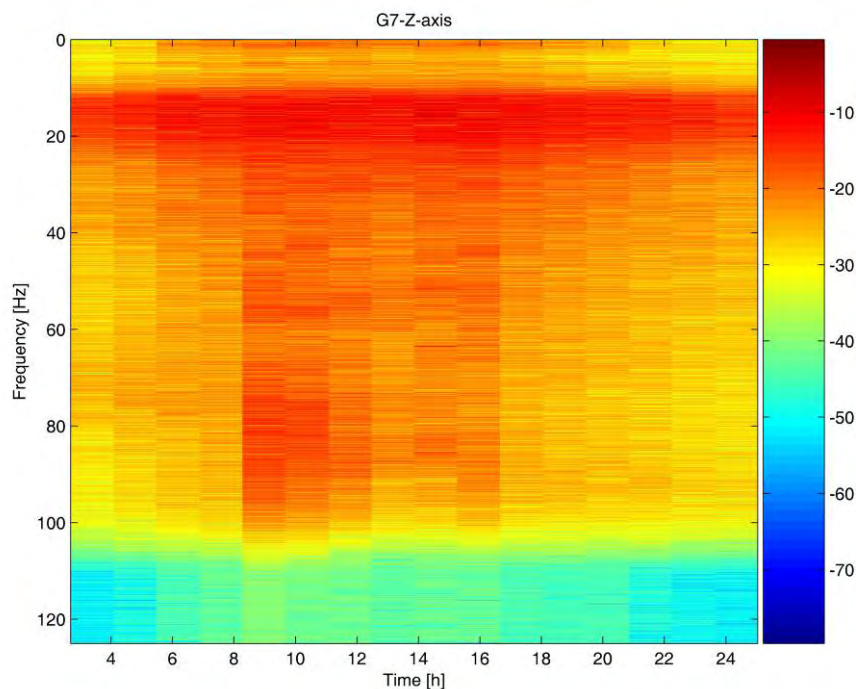


Figura 3.48. *Spettrogrammi del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G7.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 86 di 201	Rev. 0

Tab. 3.7. Valori RMS dei segnali acquisiti dal geofono G6.

Geofono G6	Asse x	Asse y	Asse z
<i>Velocità in assenza di attività [mm/s]</i>	0.01	0.01	0.01
<i>Velocità in presenza di attività [mm/s]</i>	0.03	0.04	0.03
<i>Velocità nella fase di spinta [mm/s]</i>	0.40	0.40	0.28

Tab. 3.8. Valori RMS dei segnali acquisiti dal geofono G7.

Geofono G7	Asse x	Asse y	Asse z
<i>Velocità in assenza di attività [mm/s]</i>	0.01	0.02	0.01
<i>Velocità in presenza di attività [mm/s]</i>	0.02	0.04	0.02
<i>Velocità nella fase di spinta [mm/s]</i>	0.04	0.04	0.03

La stima del decadimento dell'onda vibrazionale propagatasi nell'area compresa fra i geofoni G6 e G7 è pari a 0.8dB/m per l'asse longitudinale ed a 0.7dB/m per l'asse trasversale e per l'asse verticale. Tale stima è consistente con quella effettuata nel caso di avvicinamento della TBM al geofono G6.

3.7 Valutazione dell'attenuazione lungo i conci di calcestruzzo durante l'allontanamento della TBM da G6

In questo paragrafo si stima l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e propagata lungo i conci di calcestruzzo, utilizzando il segnale ricevuto da G1 quando la testa della TBM è in prossimità di G6. La stima del decadimento è riportata nell'ultima riga della Tab. 3.9 ed è pari a 0.3dB/m per l'asse longitudinale e per l'asse trasversale ed a 0.4dB/m per l'asse verticale.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 87 di 201	Rev. 0

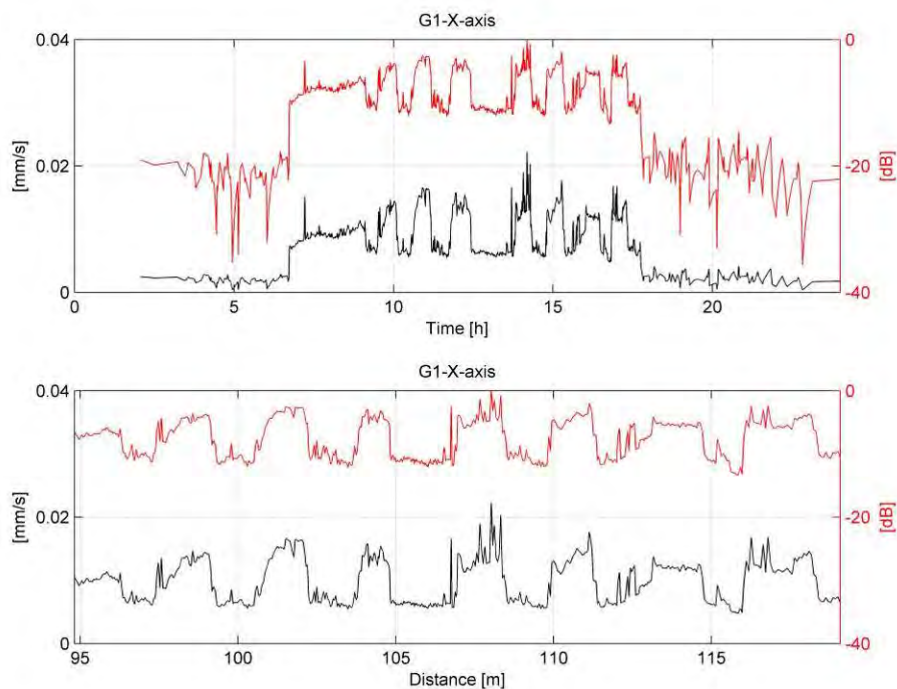


Figura 3.49. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G1.

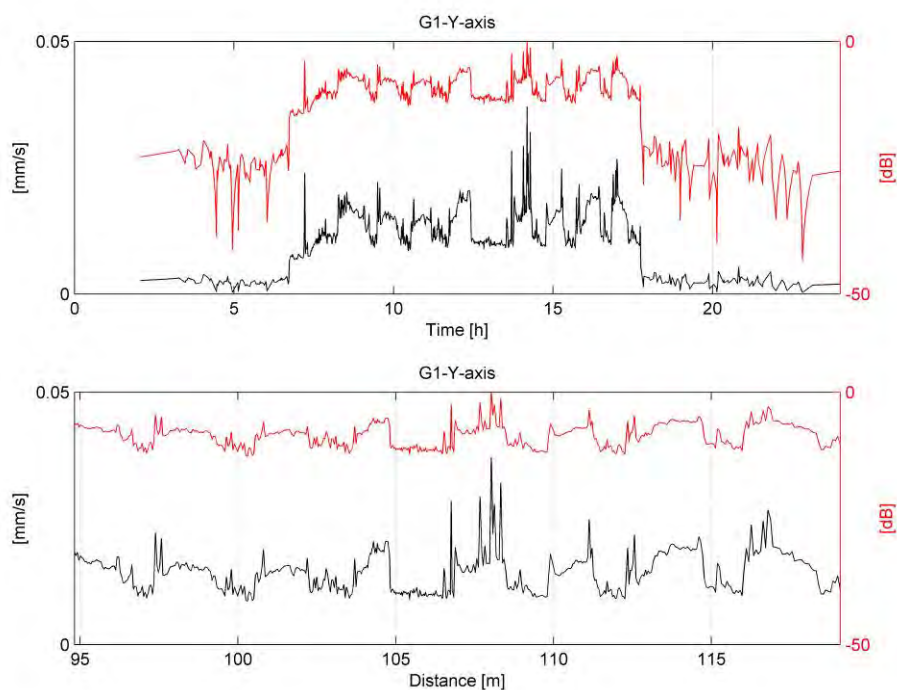


Figura 3.50. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G1.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 88 di 201	Rev. 0

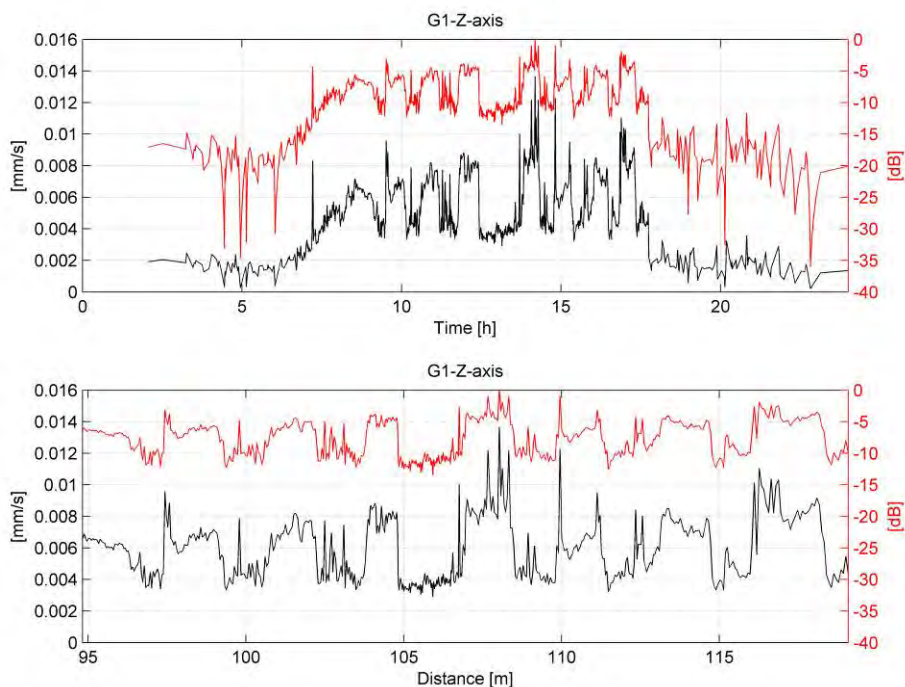


Figura 3.51. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G1.

Tab. 3.9. Valori RMS dei segnali acquisiti dal geofono G1.

Geofono G1	Asse x	Asse y	Asse z
<i>Velocità in assenza di attività [mm/s]</i>	0.002	0.002	0.002
<i>Velocità in presenza di attività [mm/s]</i>	0.007	0.01	0.004
<i>Velocità nella fase di spinta [mm/s]</i>	0.016	0.016	0.008
<i>Decadimento [dB/m]</i>	0.3	0.3	0.4

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 89 di 201	Rev. 0

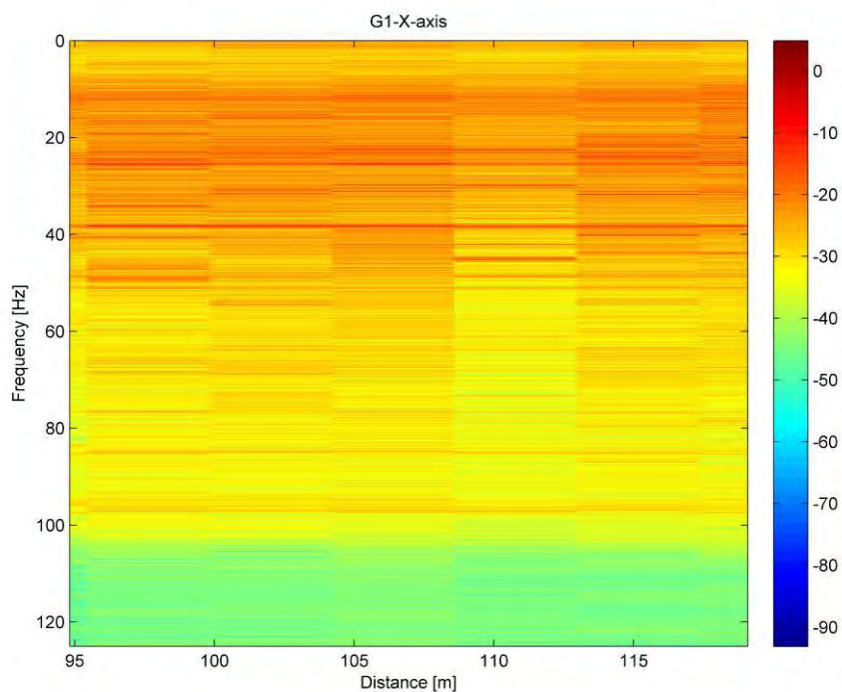
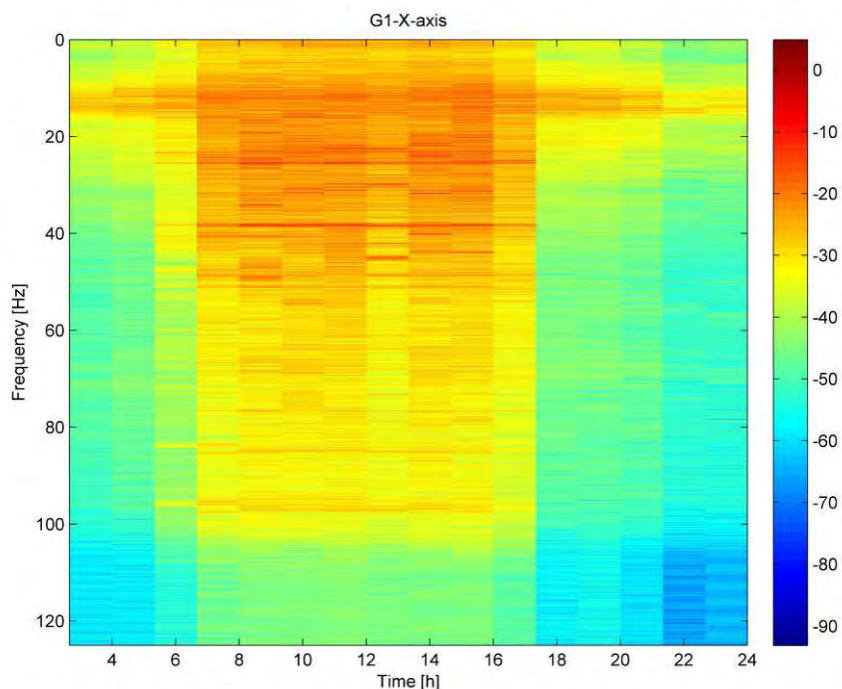


Figura 3.52. *Spetrogrammi del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G1.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 90 di 201	Rev. 0

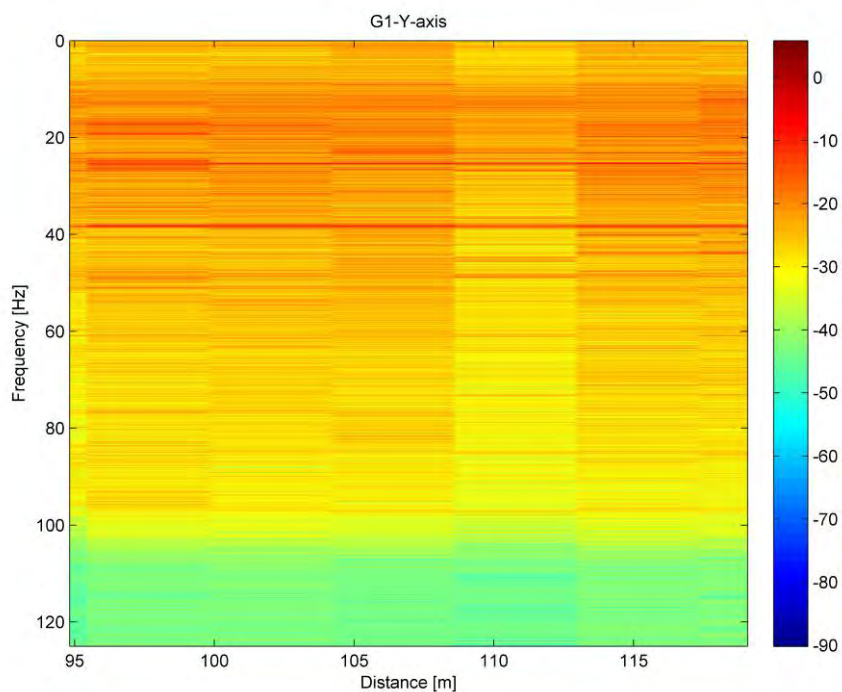
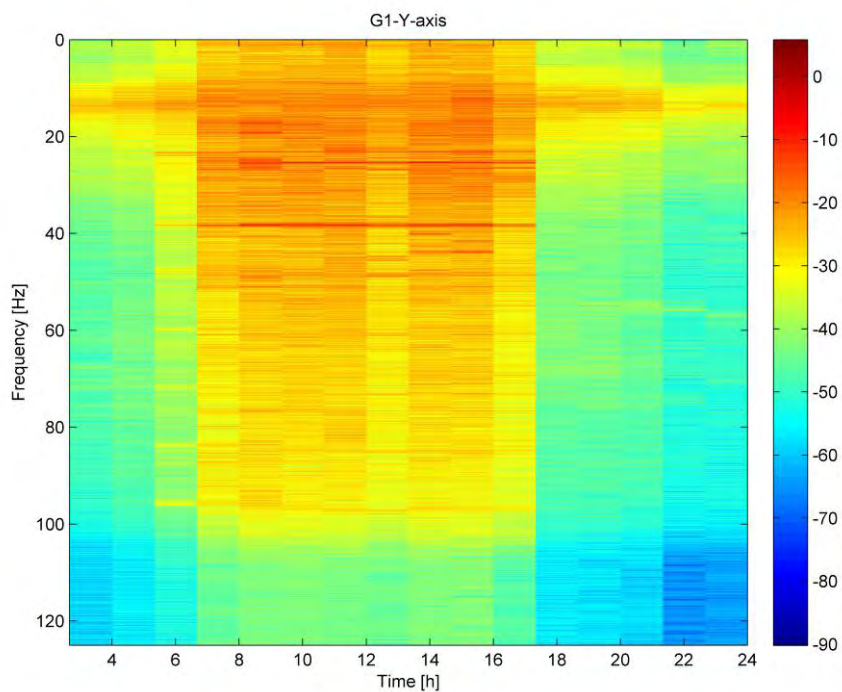


Figura 3.53. *Spetrogrammi del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G1.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 91 di 201	Rev. 0

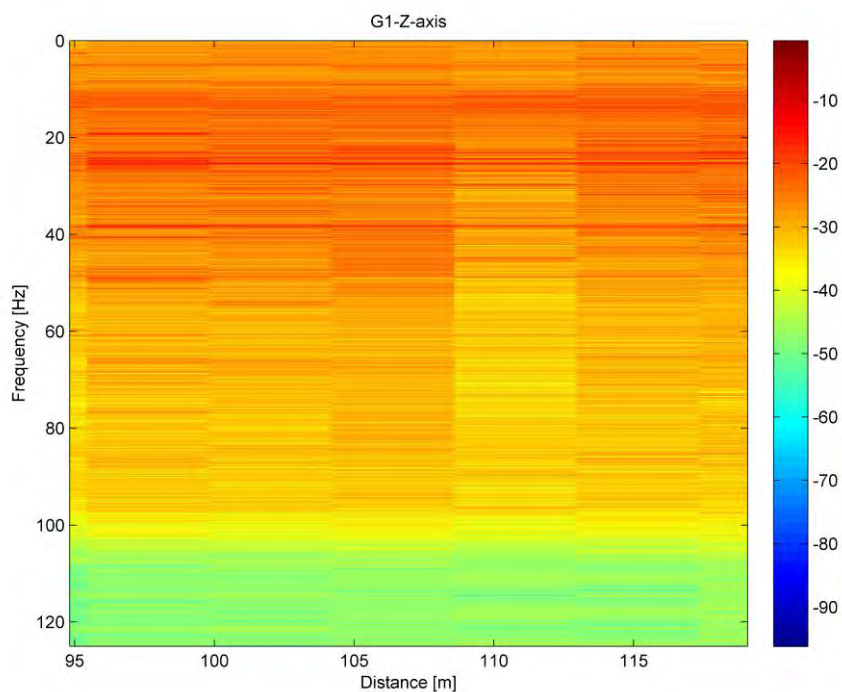
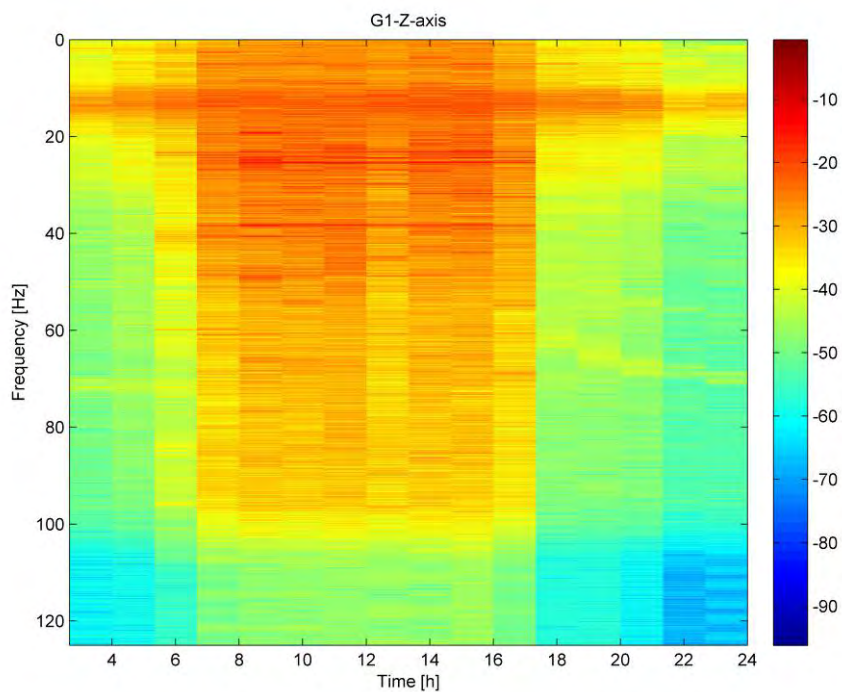


Figura 3.54. *Spettrogrammi del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G1.*

Si noti come i risultati siano consistenti con quelli ottenuti nel caso di avvicinamento della TBM al geofono G6.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 92 di 201	Rev. 0

3.8 Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del sensore G8

In questo paragrafo viene stimata l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e propagatasi nel terreno dell'area compresa fra i geofoni G8 e G9.

Dapprima viene stimato il livello RMS dei segnali acquisiti dai geofoni G8 e G9 quando la testa della TBM è in prossimità del geofono G8 (13-05-2010); in seguito viene calcolato il rapporto di tali valori, espresso in dB. Questo ultimo valore, diviso per la differenza fra la distanza di G8 dalla testa della TBM e la distanza di G9 dalla testa della TBM (29m circa), restituisce il valore dell'attenuazione da stimare.

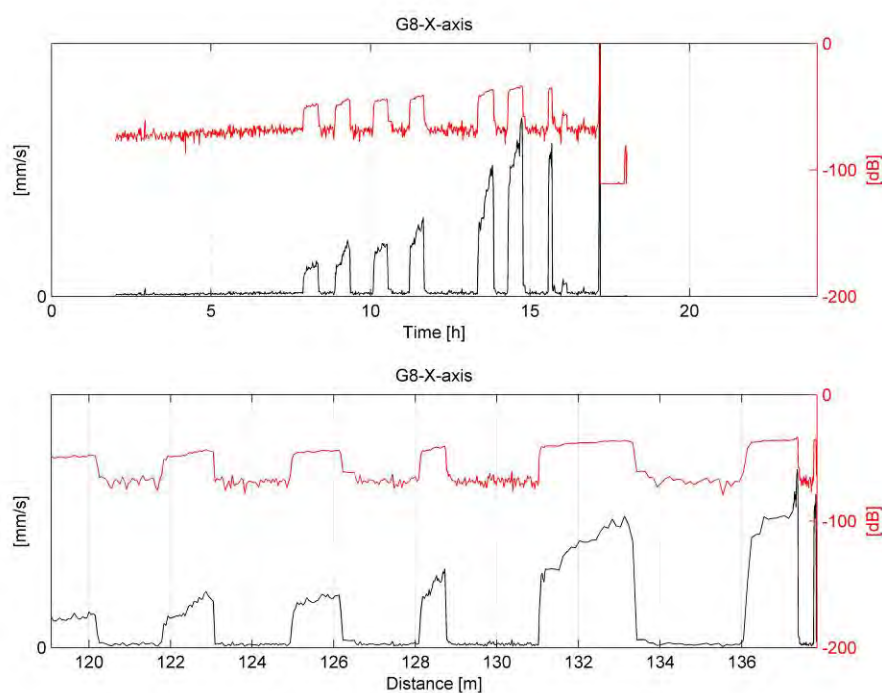


Figura 3.55. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G8.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 93 di 201	Rev. 0

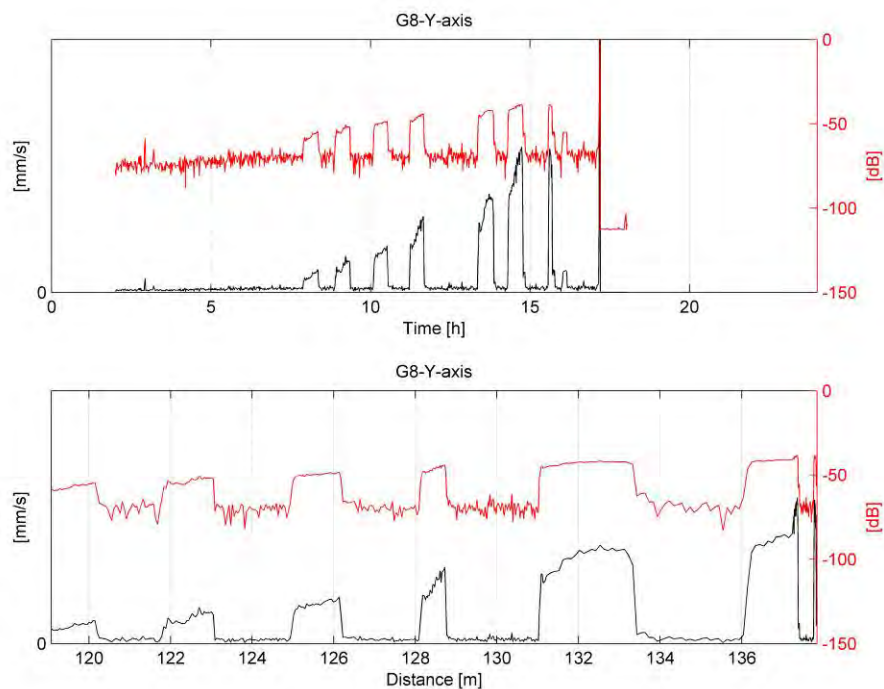


Figura 3.56. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G8.

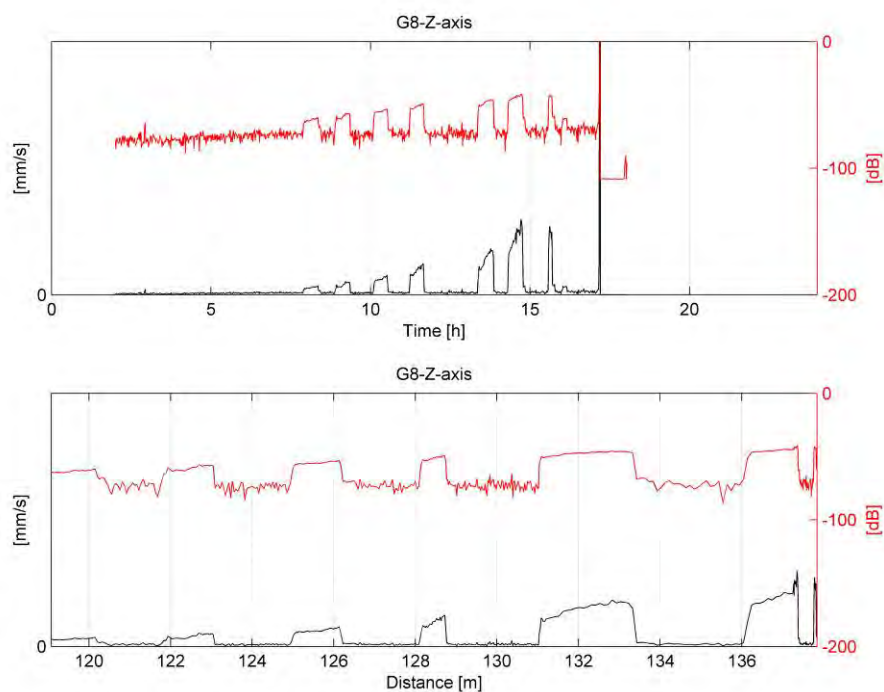


Figura 3.57. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G8.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 94 di 201	Rev. 0

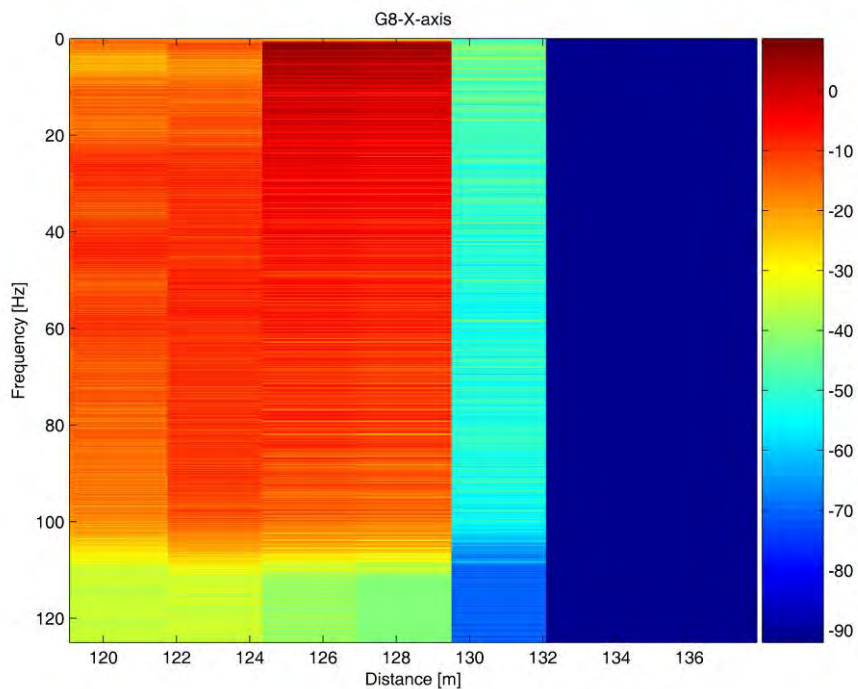
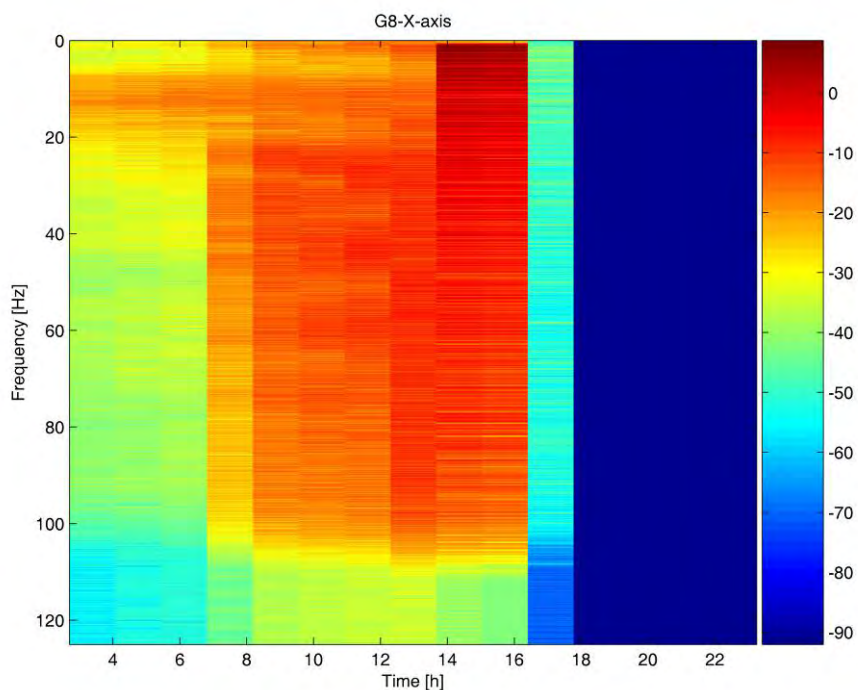


Figura 3.58. *Spettrogrammi del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G8.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 95 di 201	Rev. 0

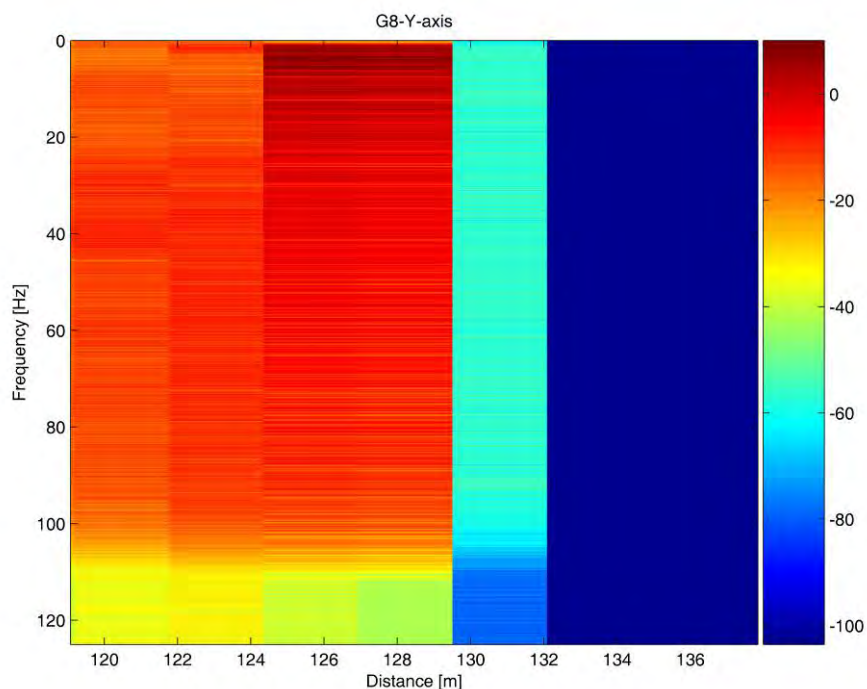
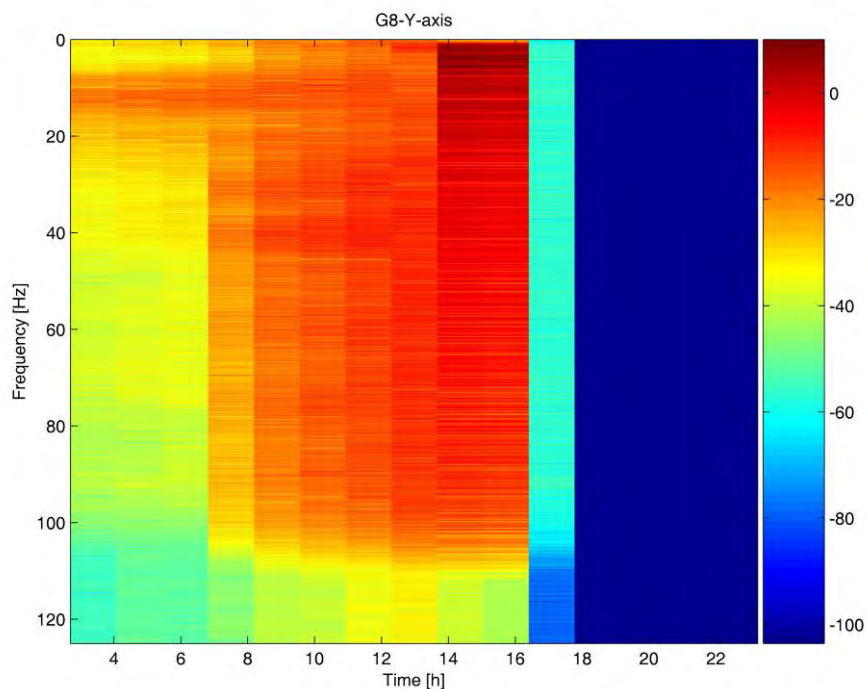


Figura 3.59. *Spetrogrammi del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G8.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 96 di 201	Rev. 0

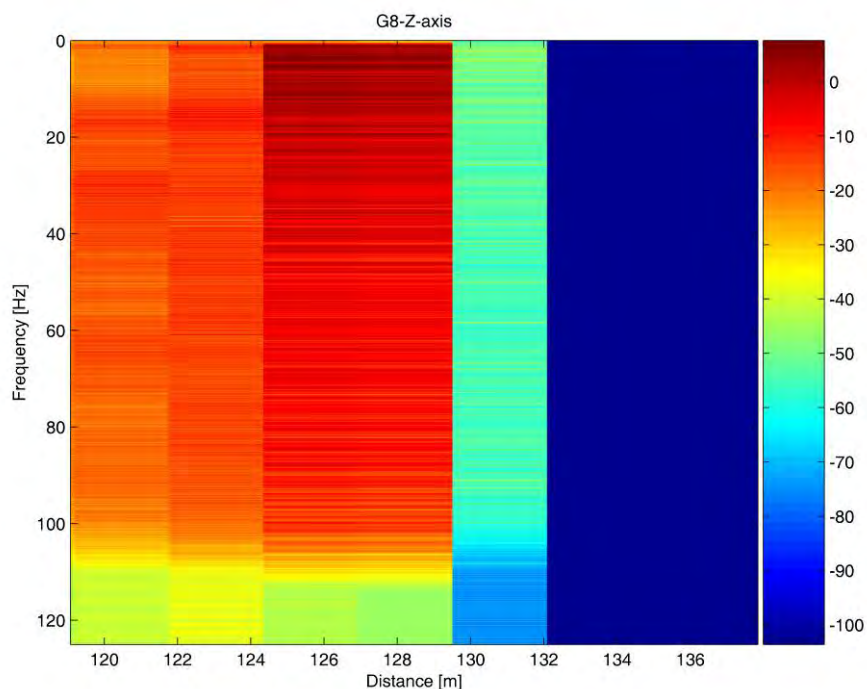
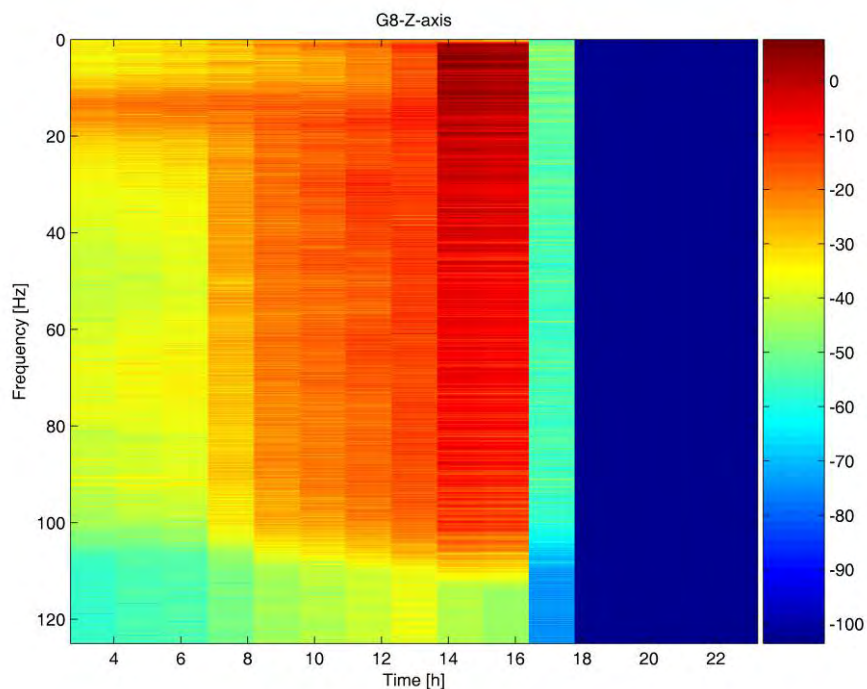


Figura 3.60. *Spettrogrammi del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G8.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 97 di 201	Rev. 0

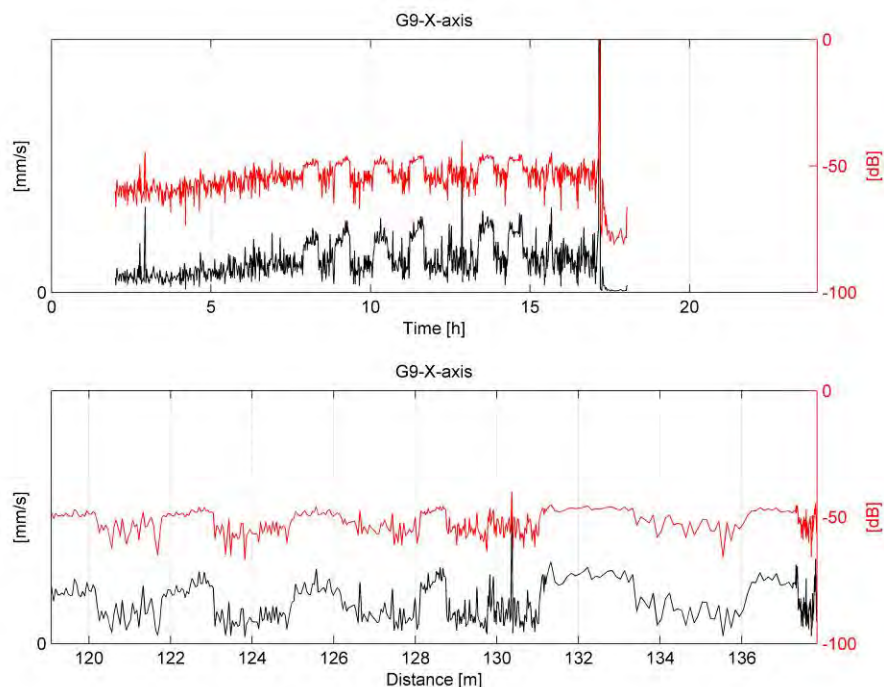


Figura 3.61. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G9.

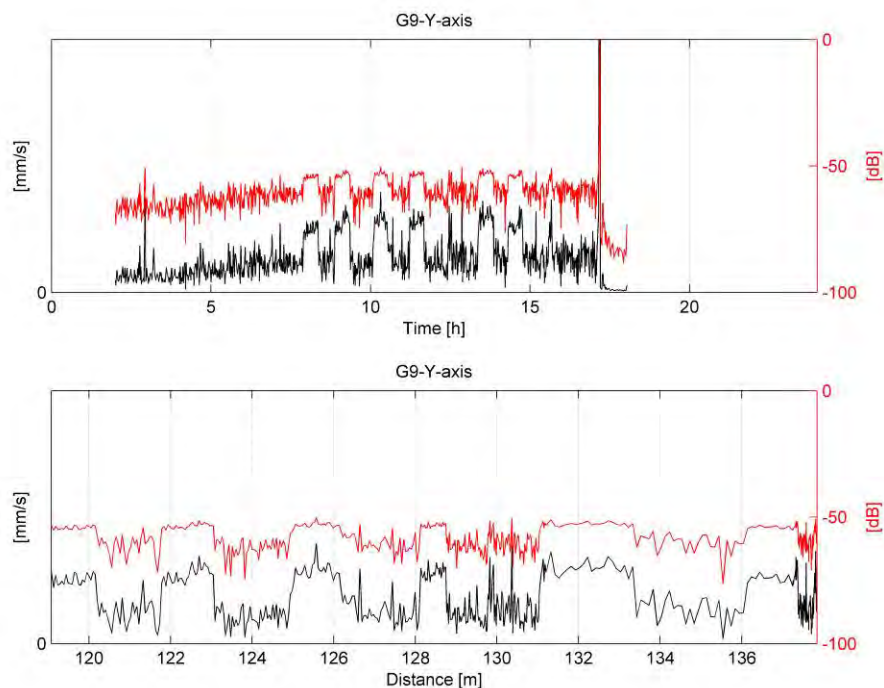


Figura 3.62. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G9.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 98 di 201	Rev. 0

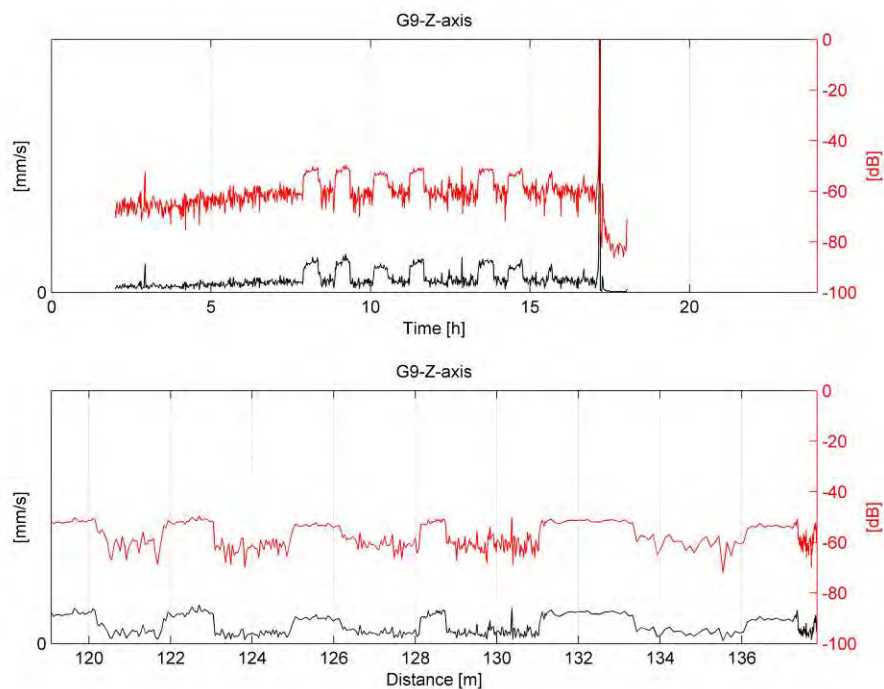


Figura 3.63. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G9.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 99 di 201	Rev. 0

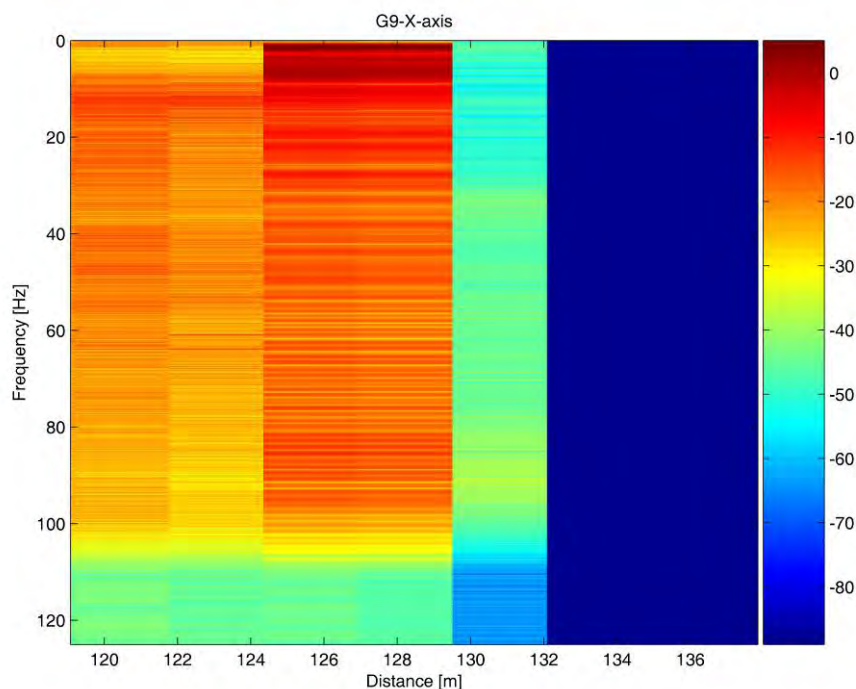
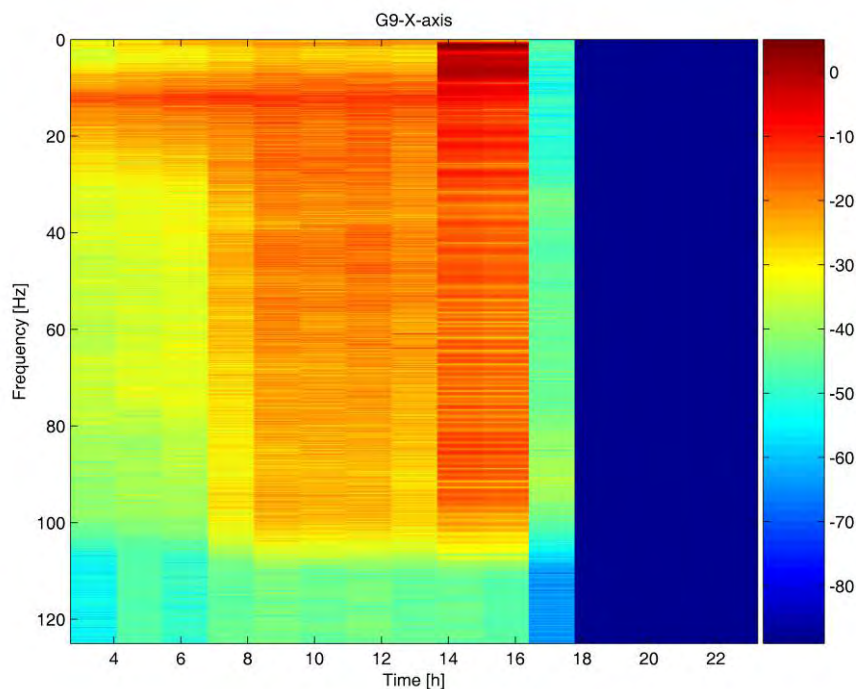


Figura 3.64. *Spetrogrammi del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G9.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 100 di 201	Rev. 0

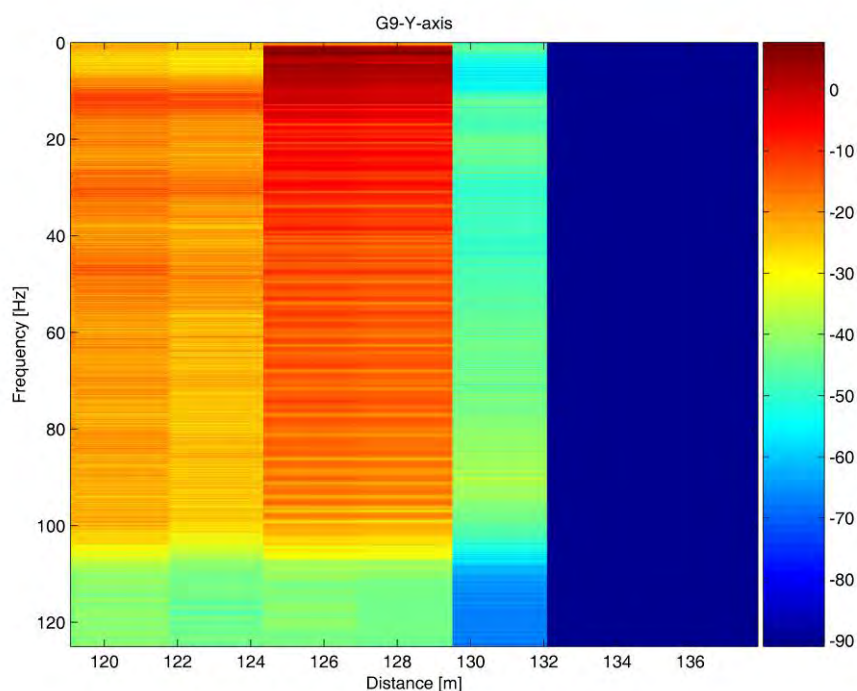
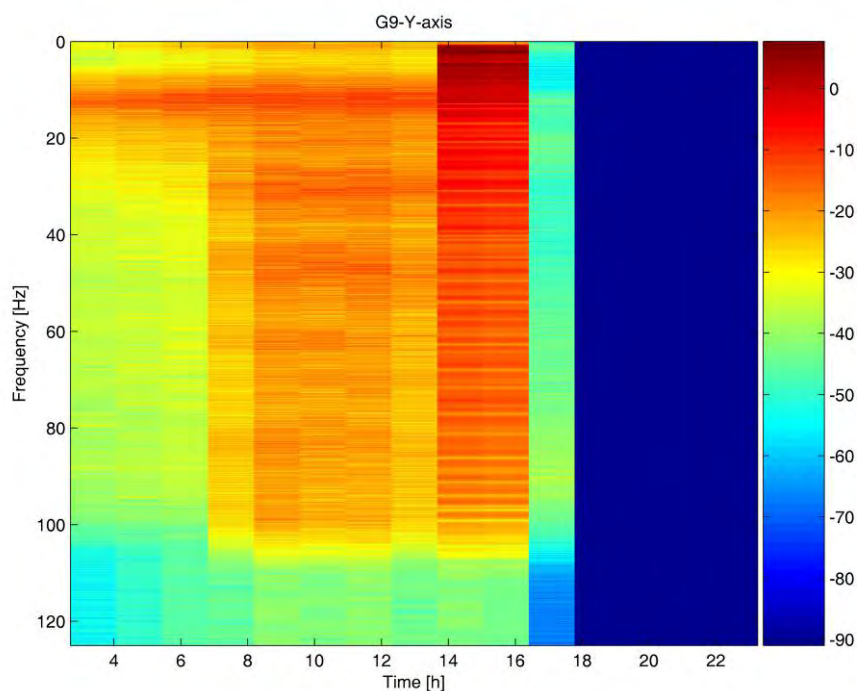


Figura 3.65. *Spetrogrammi del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G9.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 101 di 201	Rev. 0

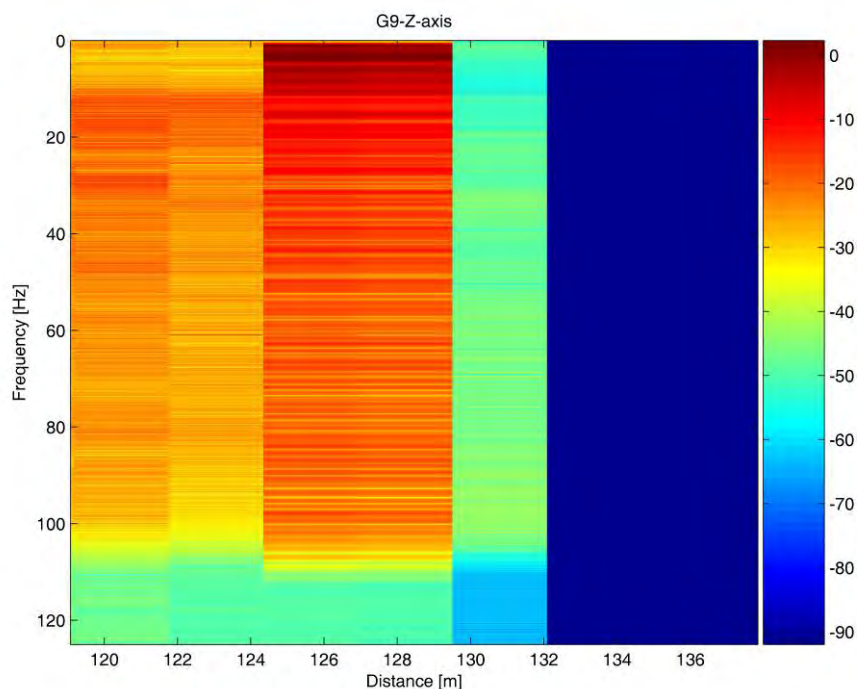
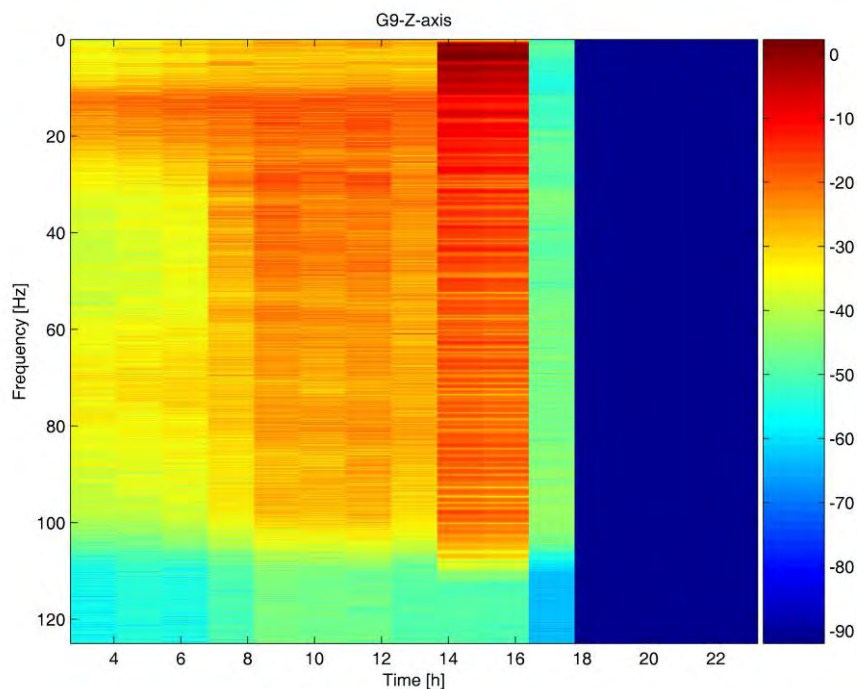


Figura 3.66. *Spettrogrammi del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G9.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 102 di 201	Rev. 0

Tab. 3.10. Valori RMS dei segnali acquisiti dal geofono G8.

Geofono G8	Asse x	Asse y	Asse z
Velocità in assenza di attività [mm/s]	0.004	0.005	0.003
Velocità in presenza di attività [mm/s]	0.006	0.008	0.004
Velocità nella fase di spinta [mm/s]	0.256	0.210	0.091

Tab. 3.11. Valori RMS dei segnali acquisiti dal geofono G9.

Geofono G9	Asse x	Asse y	Asse z
Velocità in assenza di attività [mm/s]	0.006	0.006	0.003
Velocità in presenza di attività [mm/s]	0.010	0.010	0.005
Velocità nella fase di spinta [mm/s]	0.028	0.026	0.010

La stima del decadimento dell'onda vibrazionale propagatasi nell'area compresa fra i geofoni G8 e G9 è pari a 0.7dB/m per l'asse longitudinale, a 0.6dB/m per l'asse trasversale ed a 0.7dB/m per l'asse verticale.

3.9 Conclusioni

Dall'analisi qui effettuata emerge che per il cantiere di "Villesse" è possibile stimare i coefficienti di attenuazione tipici del sito, al fine di valutare gli effetti vibrazionali della TBM in avanzamento, in un punto a distanza nota dalla stessa.

La stima del decadimento dell'onda vibrazionale che si è propagata nell'area compresa:

- fra i geofoni G2 e G3 è pari a 0.6 dB/m per l'asse longitudinale, trasversale e verticale;
- fra i geofoni G6 e G7 è pari a 0.8 dB/m per l'asse longitudinale ed a 0.7 dB/m per l'asse trasversale e per l'asse verticale;
- fra i geofoni G8 e G9 è pari a 0.7 dB/m per l'asse longitudinale, a 0.6 dB/m per l'asse trasversale ed a 0.7 dB/m per l'asse verticale;

La stima del decadimento lungo i conci di calcestruzzo è pari a 0.3 dB/m per gli assi longitudinale e trasversale ed a 0.4 dB/m per l'asse verticale.

In conclusione l'ampiezza delle vibrazioni indotte dalla TBM si dimezza indicativamente ogni 20 m lungo i conci di calcestruzzo del metanodotto ed ogni 10 m nell'area circostante.

Lo smorzamento si manifesta lungo le tre direzioni x, y e z in modo praticamente omogeneo.

 snam rete gas	PROGETTISTA  		COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia	SPC. LA-E- 80350		
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia	Fg. 103 di 201	Rev. 0	

COEFFICIENTI DI ATTENUAZIONE - VIPACCO -

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 104 di 201	Rev. 0

4 COEFFICIENTI DI ATTENUAZIONE NEL SITO VIPACCO

4.1 Introduzione

In questo capitolo vengono riportati i risultati dell'analisi dei segnali acquisiti da una rete di velocimetri (geofoni) atta a monitorare le vibrazioni indotte da una TBM in avanzamento durante la costruzione di un metanodotto, in un sito di interesse Saipem.

In particolare la rete è costituita da un geofono fisso, collocato sul pozzo di spinta (G1) e da altri dodici sensori mobili di cui sei posizionati lungo il tracciato della TBM (G2 e G4, in una prima fase, G4 e G6 in una seconda fase, G6 e G8, in una terza fase, G10 in una quarta fase e G12 in una quinta fase) e sei posizionati ad una distanza compresa fra 18 m e 32 m, a Sud rispetto ai precedenti (G3 e G5, in una prima fase, G5 e G7, in una seconda fase, G7 e G9 in una terza fase, G11 in una quarta fase e G13 in una quinta fase).

Durante tutta la durata della costruzione del metanodotto, i segnali velocimetrici sono acquisiti in modalità quasi continua (acquisizione a soglia con valore di attivazione impostato opportunamente) e possono essere correlati con le varie fasi di lavoro mediante il giornale di cantiere, sebbene questo ultimo sia stato fornito con dettaglio giornaliero e non orario (si sono supposti orari lavorativi compresi fra le h. 8 e le h. 18 ed operazioni di cantiere effettuate con una tempistica abbastanza uniforme durante l'orario lavorativo).

L'obiettivo dell'analisi qui riportata è quello di stimare i coefficienti di attenuazione tipici del sito considerato, al fine di valutare gli effetti vibrazionali della TBM in avanzamento, in un punto a distanza nota dalla stessa.

I 3 assi dei velocimetri sono stati orientati con:

- la direzione Y parallela alla direzione di avanzamento
- la direzione X perpendicolare alla direzione di avanzamento sul piano orizzontale
- la direzione Z verticale

Si evidenzia che si è scelto di assegnare le direzioni del sistema di monitoraggio per focalizzare lo studio sulla propagazione delle vibrazioni in direzione ortogonale rispetto alla direttrice di avanzamento della TBM. Con tale assunzione in questo capitolo ogni riferimento alla componente trasversale della vibrazione si riferisce alla direzione parallela all'asse del progetto (Y) che nel capitolo 2 è citata come direzione longitudinale dovendo fare riferimento alla direzione di avanzamento della fresa per rendere facilmente comprensibili le ubicazioni e gli spostamenti dei velocimetri.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 105 di 201	Rev. 0

4.2 Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del pozzo di spinta – geofono G1

Nella fase iniziale d'avanzamento della TBM (22-06-2010) il geofono G1, installato in prossimità del pozzo di spinta, permette di stimare l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e retro-propagata lungo i conci di calcestruzzo.

Dai segnali acquisiti dal geofono durante la giornata di monitoraggio sono stati estratti i corrispondenti valori quadratici medi (RMS, Root Mean Square), calcolati su una finestra temporale di un minuto, come mostrato in Fig. 4.1 per la componente longitudinale (ortogonale alla direzione del metanodotto in costruzione). Nella parte superiore della figura i valori RMS sono mostrati rispetto al tempo, su scala oraria; nella parte inferiore, rispetto alla posizione della testa della TBM, che ha generato il segnale, estratta dal giornale di cantiere. In entrambi i grafici sono mostrati gli andamenti sia in scala lineare (linea nera, valori assoluti in mm/s) che in scala logaritmica (linea rossa, valori normalizzati rispetto al loro massimo, espressi in dB). Dal primo grafico si possono individuare i valori RMS misurati dal geofono al di fuori delle attività di cantiere (circa 0.002 mm/s, corrispondenti a -25 dB dal valor massimo), durante le attività di cantiere (circa 0.005 mm/s, corrispondenti a -18 dB dal valor massimo) e durante le fasi di spinta dei conci di calcestruzzo (circa 0.007 mm/s, corrispondenti a -15 dB dal valor massimo). Dal secondo grafico, invece, si può stimare l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e retro-propagata lungo il calcestruzzo verso il pozzo di spinta, assumendo una perfetta ripetibilità dell'onda indotta dalla TBM nel terreno; nel caso in esame, tale attenuazione vale circa 0.3 dB/m.

Per le componenti trasversale (parallela alla direzione del metanodotto) e verticale (Fig. 4.2 e 4.3) sono calcolati i valori RMS e l'attenuazione dell'onda propagata lungo i conci di calcestruzzo usando la medesima procedura. I risultati ottenuti sono riassunti in Tab. 4.1. Si noti che la stima dell'attenuazione qui effettuata, potrebbe essere affetta da imprecisione a causa della non perfetta ripetibilità delle onde elastiche indotte dalla TBM, che risulta significativa sulla breve distanza (circa 15 m) in cui viene calcolato il decadimento d'ampiezza.

Tab. 4.1. Valori RMS ed attenuazione dell'onda propagata lungo i conci di calcestruzzo stimati dai segnali acquisiti dal geofono G1.

Geofono G1	Asse x	Asse y	Asse z
<i>Velocità in assenza di attività [mm/s]</i>	0.002 (-25dB)	0.002 (-22dB)	0.001 (-24dB)
<i>Velocità in presenza di attività [mm/s]</i>	0.005 (-18dB)	0.004 (-16dB)	0.003 (-15dB)
<i>Velocità nella fase di spinta [mm/s]</i>	0.007 (-15dB)	0.008 (-10dB)	0.007 (-8dB)
<i>Decadimento [dB/m]</i>	0.26	0.27	0.23

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 106 di 201	Rev. 0

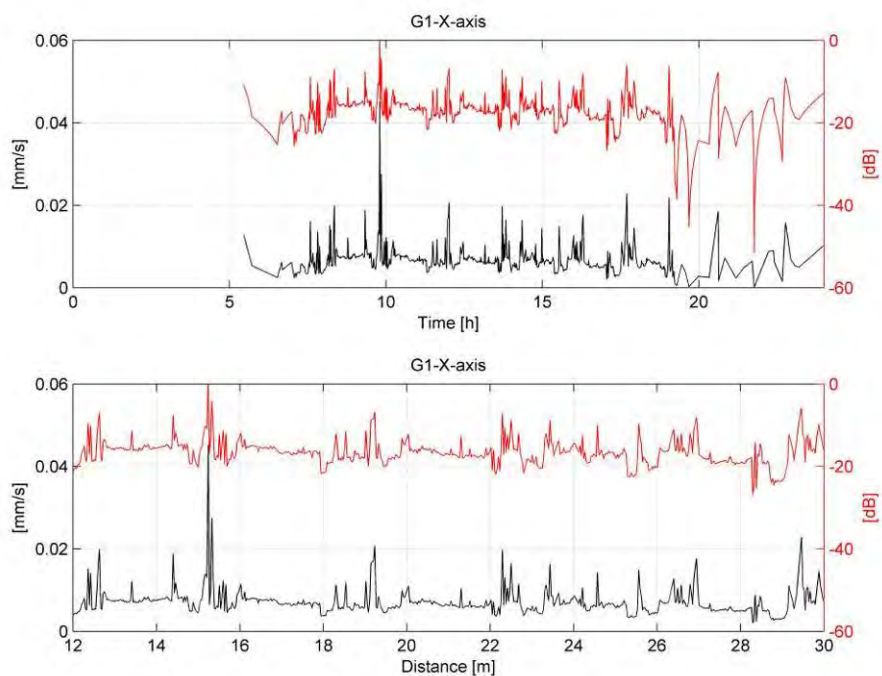


Figura 4.1 Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G1.

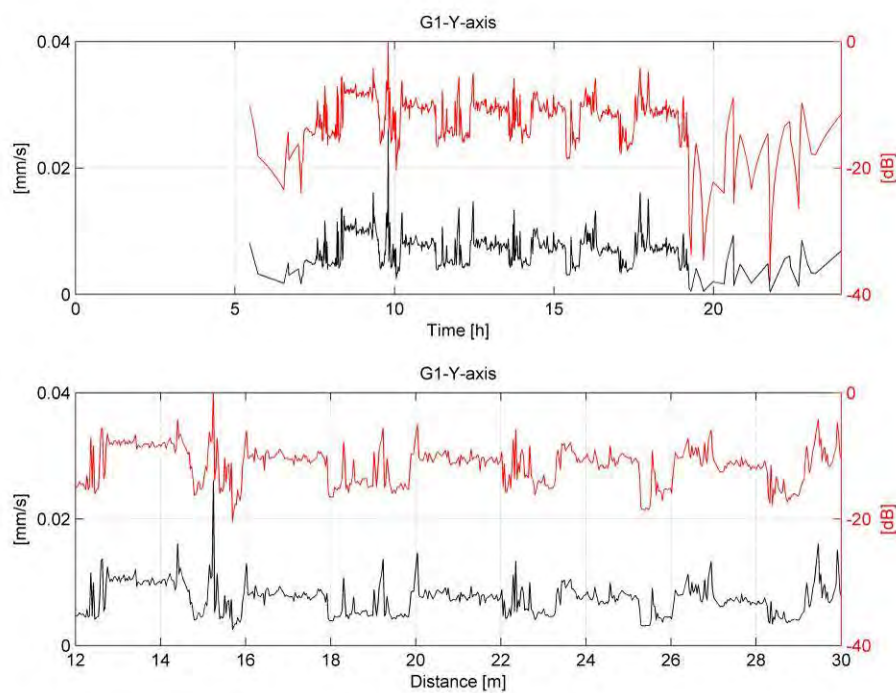


Figura 4.2. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G1.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 107 di 201	Rev. 0

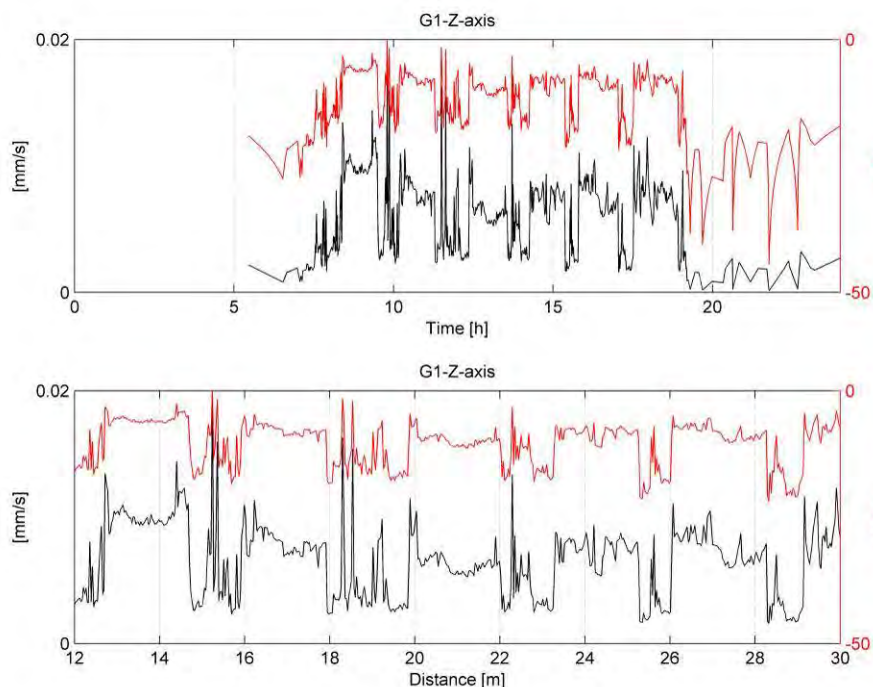


Figura 4.3. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G1.

Lo spettro dei segnali acquisiti dalla componente longitudinale del geofono G1, durante tutta la durata dell'acquisizione, è mostrato nello spettrogramma di Fig. 4.4. Si nota la presenza del filtro anti-alias a 100Hz circa (la frequenza di campionamento è di 250Hz).

Durante le attività di cantiere lo spettro ricopre quasi tutta la banda ed è caratterizzato anche da componenti in frequenza prossime ai 100Hz (in concomitanza delle fasi di spinta). Al di fuori delle attività di cantiere le componenti spettrali più significative sono comprese entro i primi 30-40Hz; si noti infine, la presenza di una componente sinusoidale a circa 15Hz.

Gli spettrogrammi corrispondenti alle componenti trasversale e verticale del geofono G1 sono mostrati nelle Figure. 4.5 e 4.6.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 108 di 201	Rev. 0

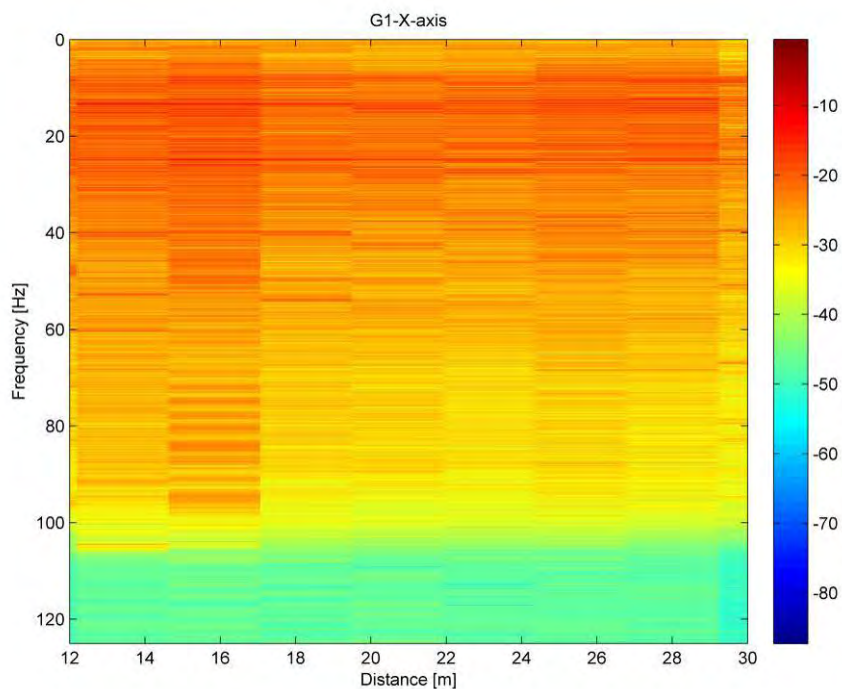
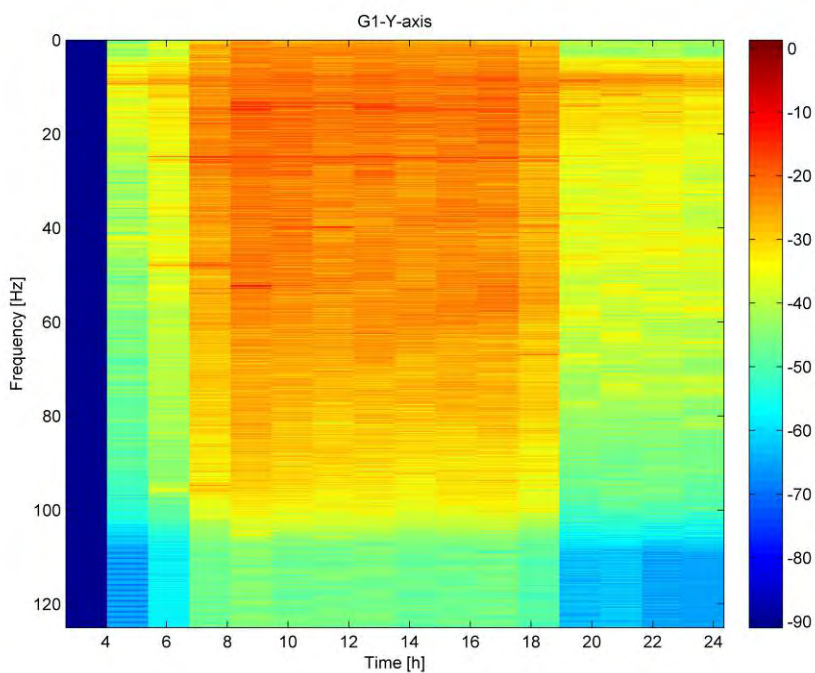


Figura 4.4. Spettrogramma del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G1.



 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 109 di 201	Rev. 0

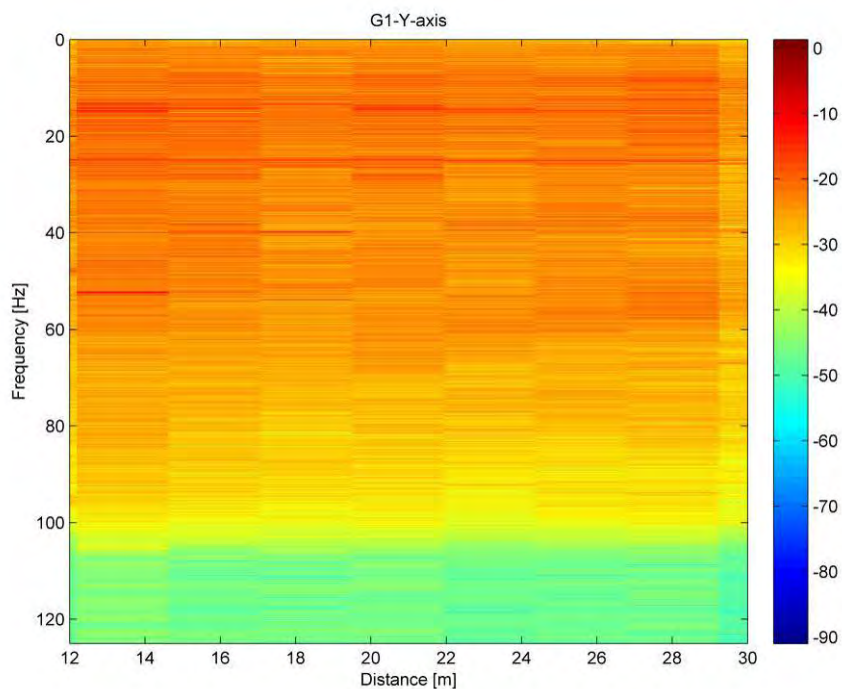
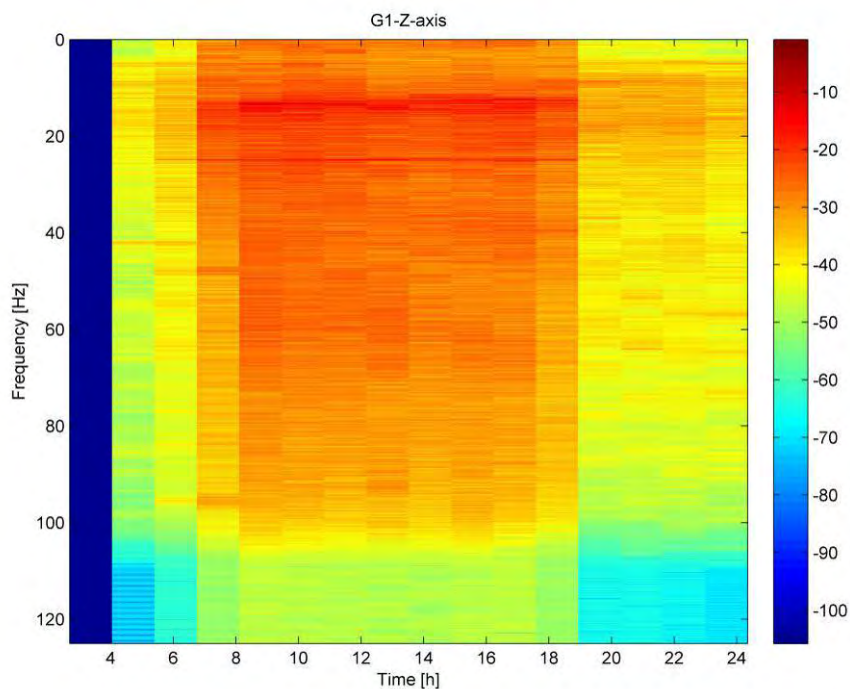


Figura 4.5. Spettrogramma del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G1.



 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 110 di 201	Rev. 0

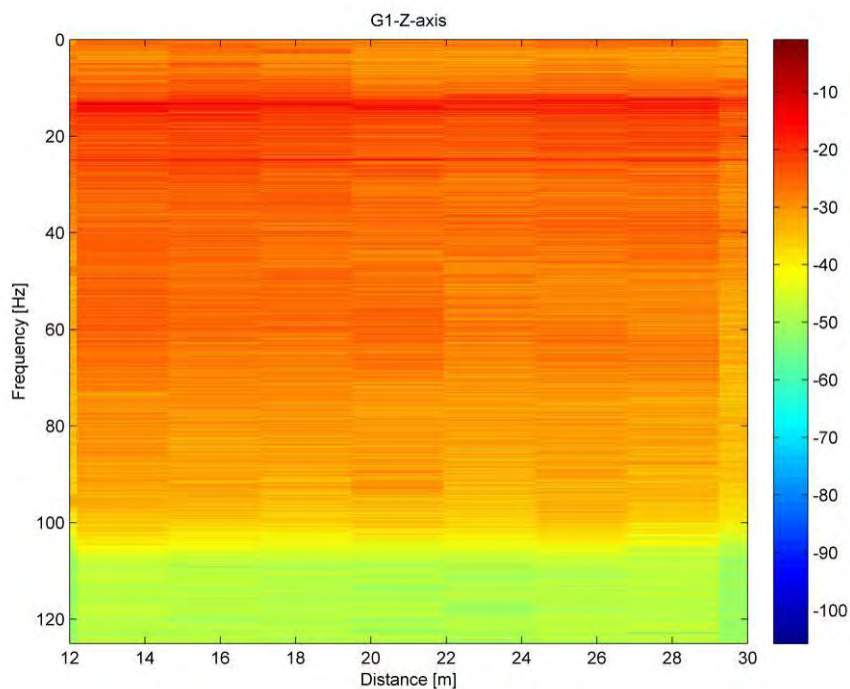


Figura 4.6. Spettrogramma del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G1.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 111 di 201	Rev. 0

4.3 Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del sensore G2

In questo paragrafo viene stimata l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e propagatasi nel terreno dell'area compresa fra i geofoni G2 e G3.

Dapprima viene stimato il livello RMS dei segnali acquisiti dai geofoni G2 e G3 quando la testa della TBM si trova nelle immediate vicinanze del geofono G2 (22-06-2010); in seguito viene calcolato il rapporto di tali valori, espresso in dB. Questo ultimo valore, diviso per la differenza fra la distanza di G2 dalla testa della TBM e la distanza di G3 dalla testa della TBM (11 m circa), restituisce il valore dell'attenuazione da stimare.

Le seguenti tabelle riportano i valori registrati.

Tab. 4.2. Valori RMS dei segnali acquisiti dal geofono G2.

Geofono G2	Asse x	Asse y	Asse z
<i>Velocità in assenza di attività [mm/s]</i>	0.009	0.007	0.003
<i>Velocità in presenza di attività [mm/s]</i>	0.010	0.010	0.004
<i>Velocità nella fase di spinta [mm/s]</i>	0.050	0.035	0.015

Tab. 4.3. Valori RMS dei segnali acquisiti dal geofono G3.

Geofono G3	Asse x	Asse y	Asse z
<i>Velocità in assenza di attività [mm/s]</i>	0.007	0.007	0.002
<i>Velocità in presenza di attività [mm/s]</i>	0.007	0.010	0.003
<i>Velocità nella fase di spinta [mm/s]</i>	0.020	0.017	0.006

La stima del decadimento dell'onda vibrazionale propagatasi nell'area compresa fra i geofoni G2 e G3 è pari a 0.7dB/m per l'asse longitudinale, a 0.6dB/m per l'asse trasversale ed a 0.7dB/m per l'asse verticale.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 112 di 201	Rev. 0

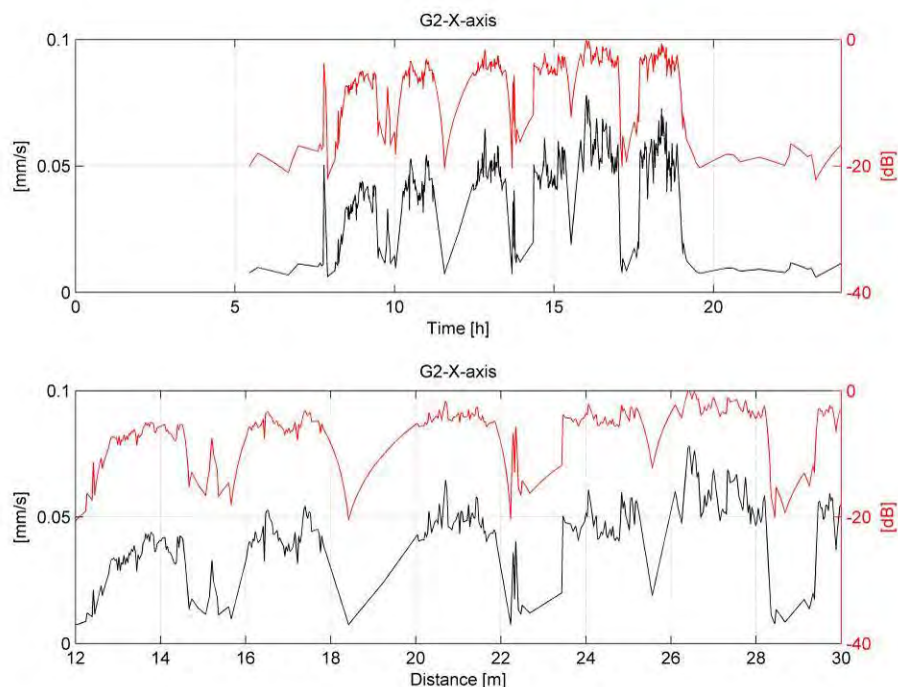


Figura 4.7. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G2.

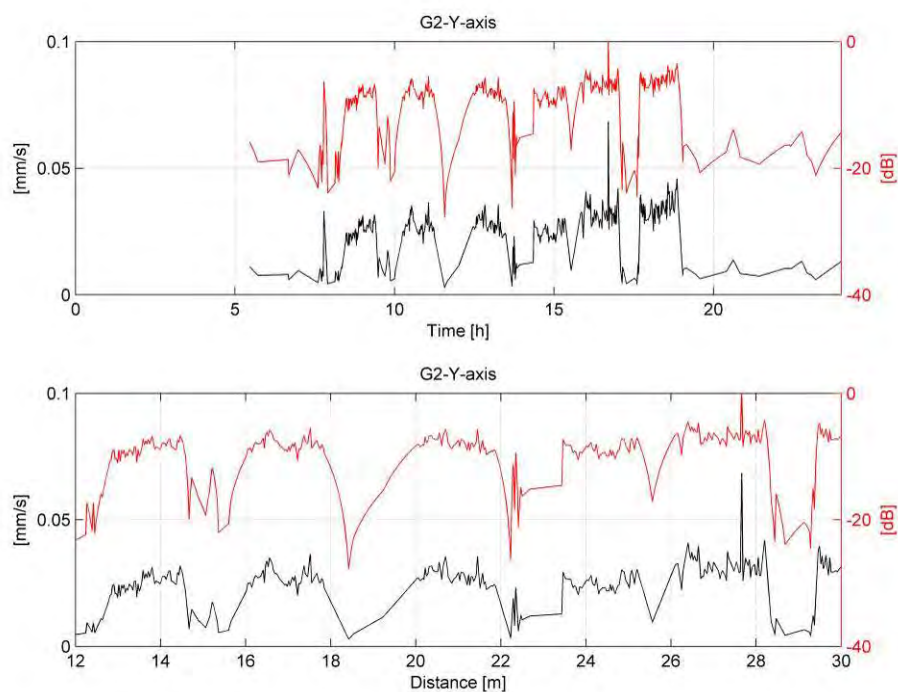


Figura 4.8. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G2.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 113 di 201	Rev. 0

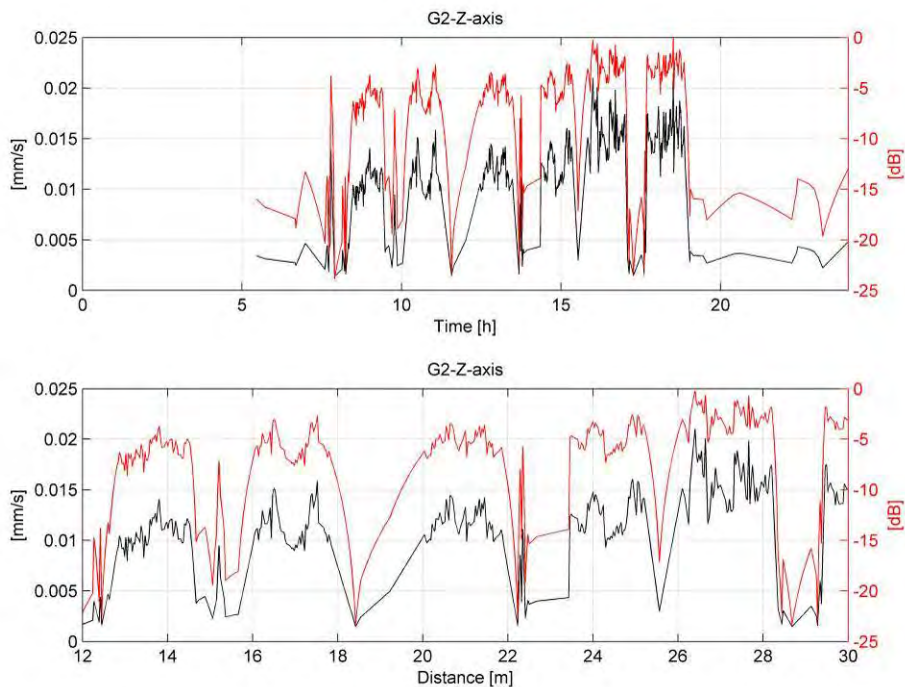


Figura 4.9. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G2.

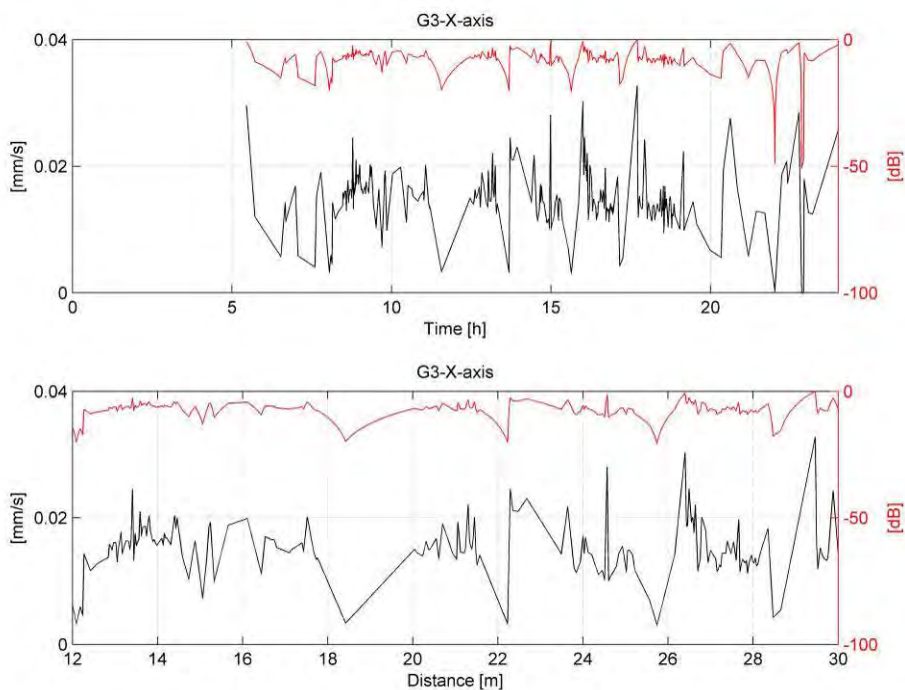


Figura 4.10. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G3.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 114 di 201	Rev. 0

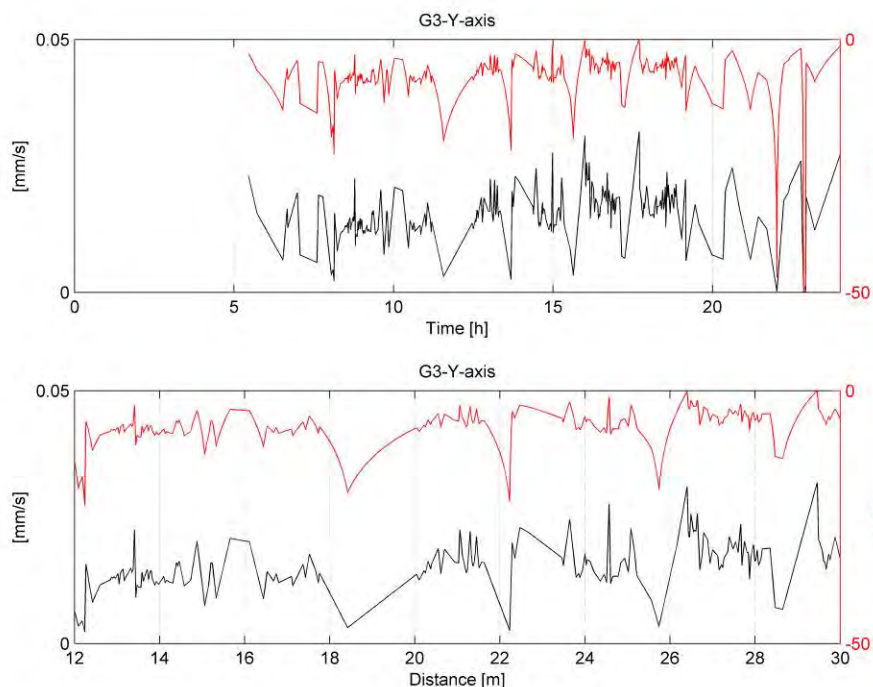


Figura 4.11. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G3.

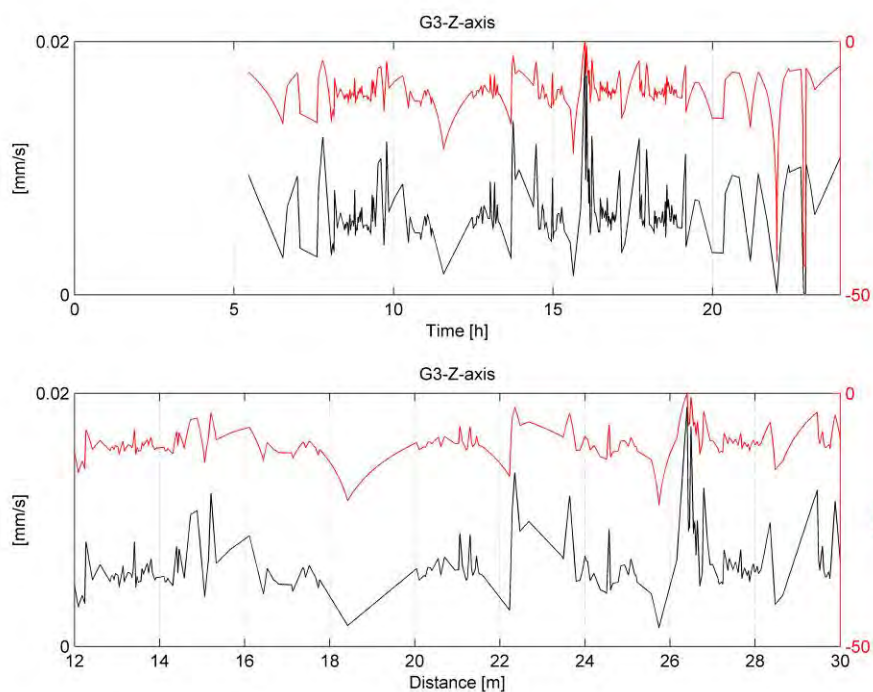


Figura 4.12. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G3.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 115 di 201	Rev. 0

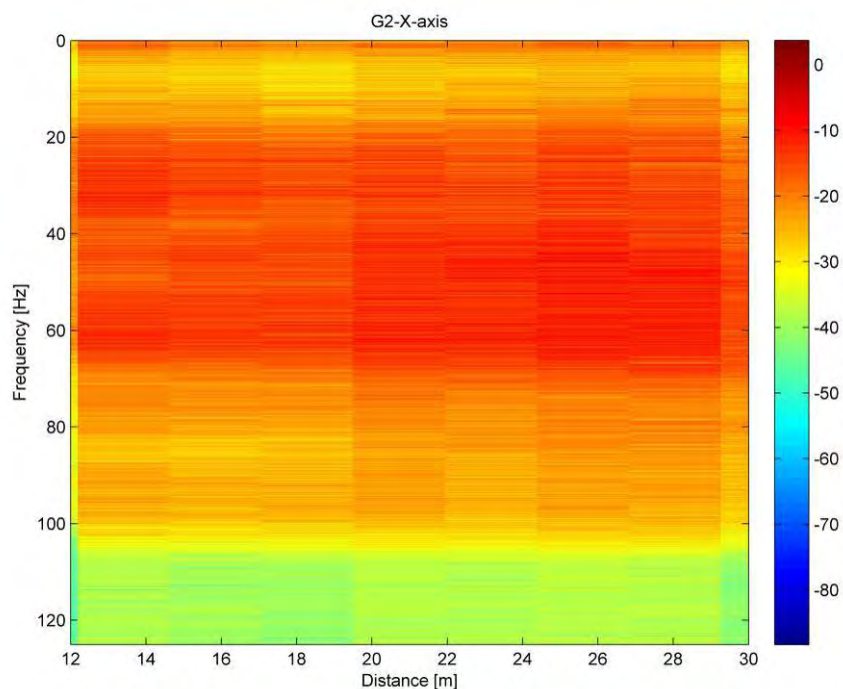
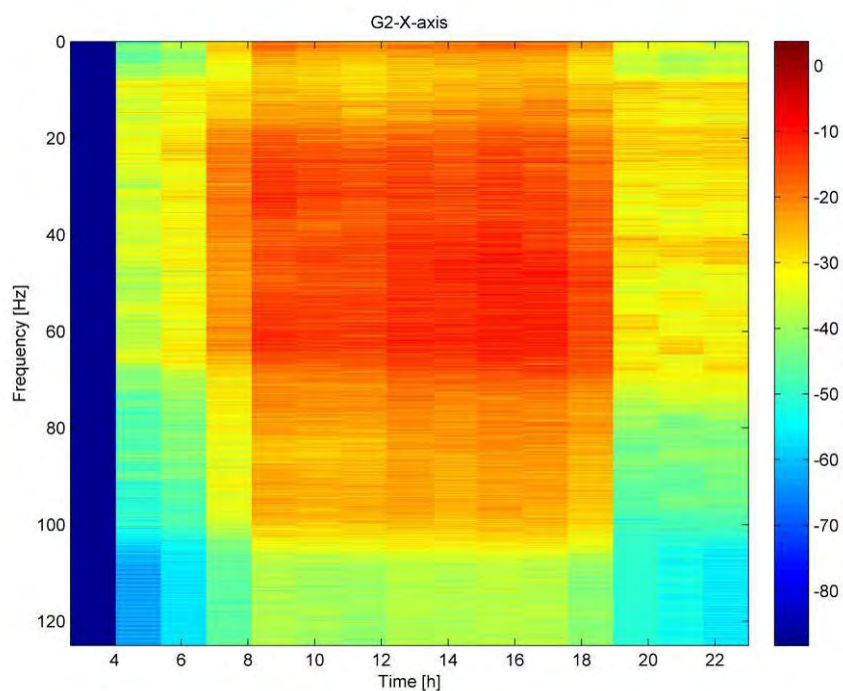


Figura 4.13. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G2.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 116 di 201	Rev. 0

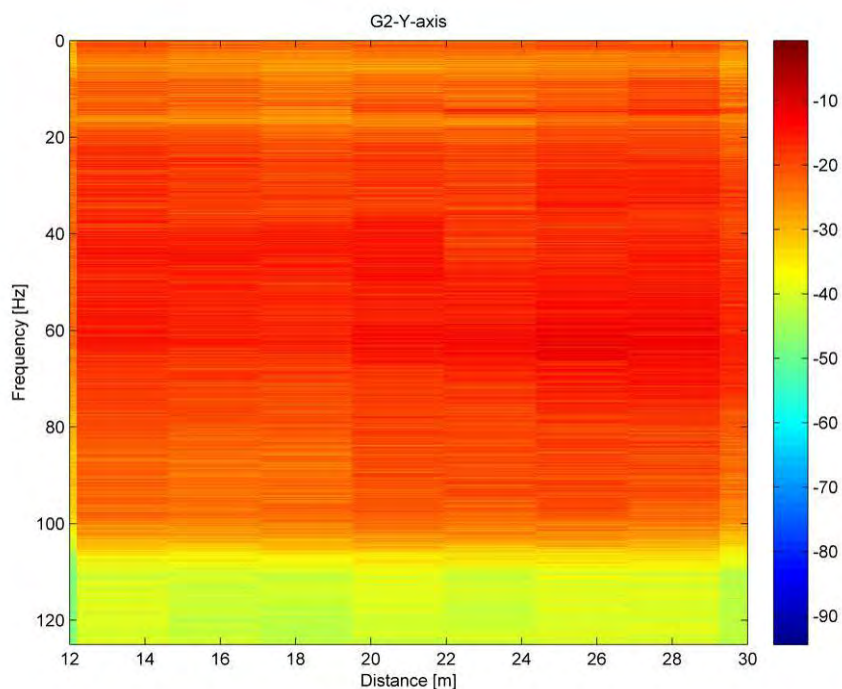
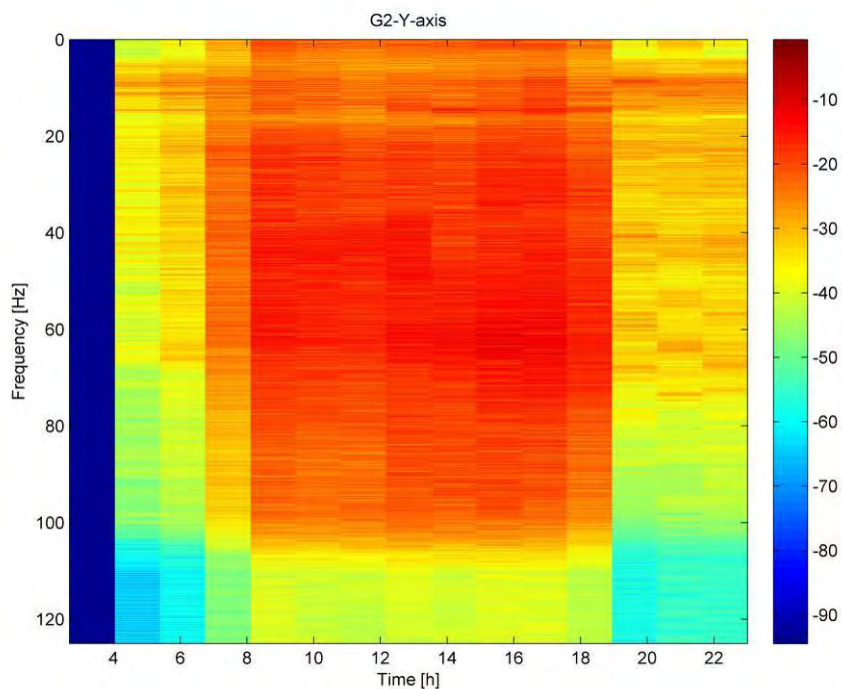


Figura 4.14. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G2.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 117 di 201	Rev. 0

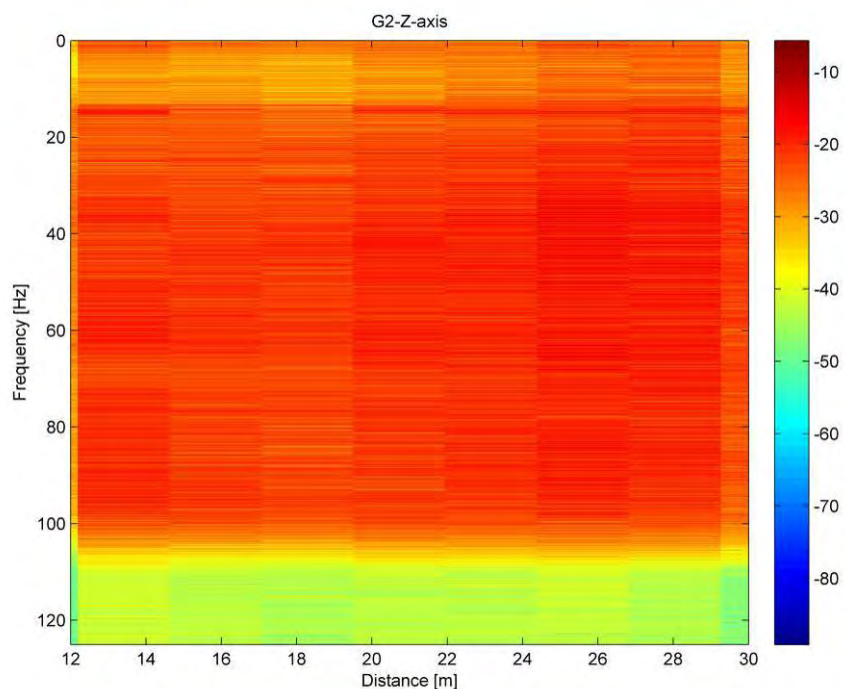
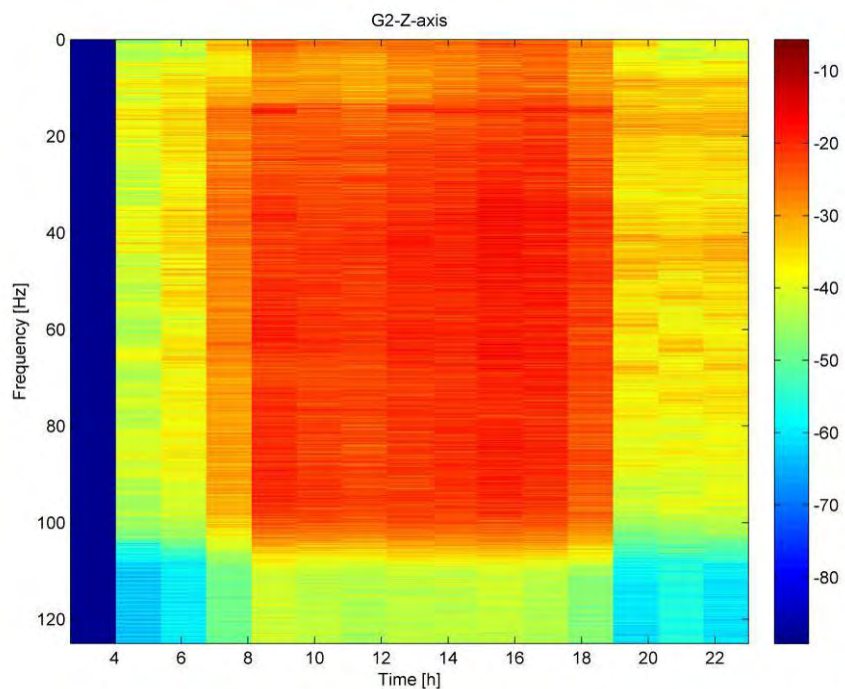


Figura 4.15. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G2.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 118 di 201	Rev. 0

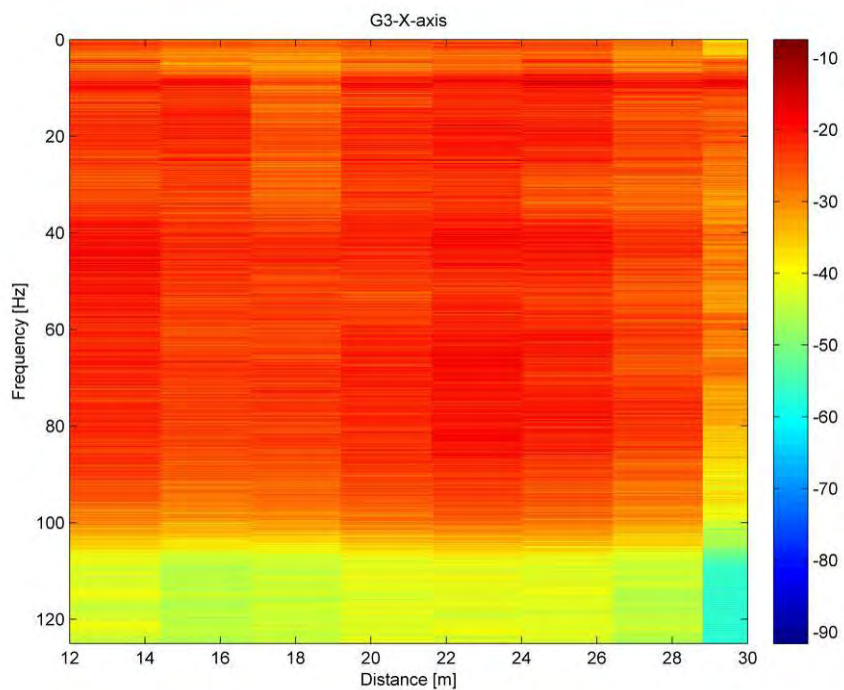
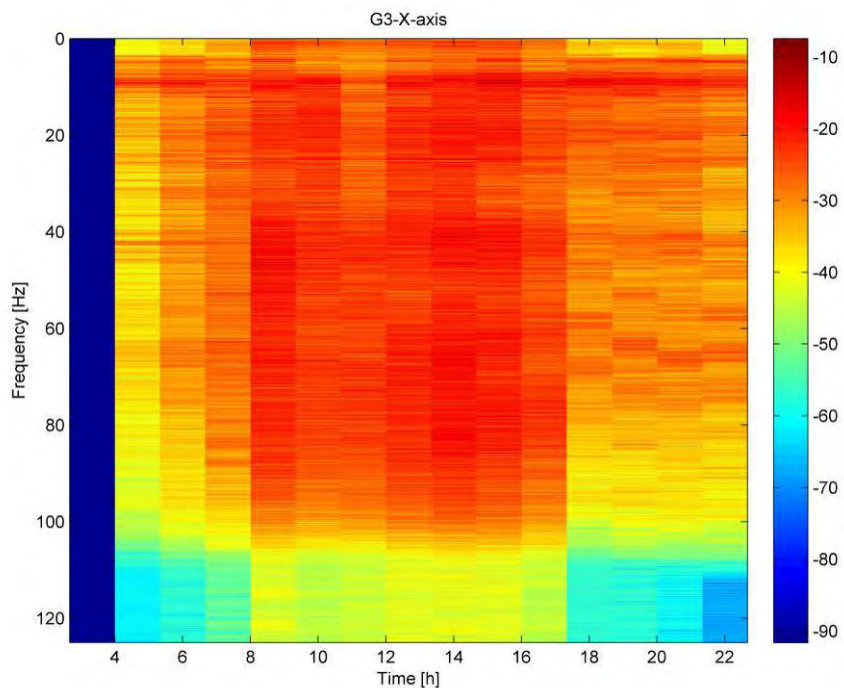


Figura. 5.16. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G3.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 119 di 201	Rev. 0

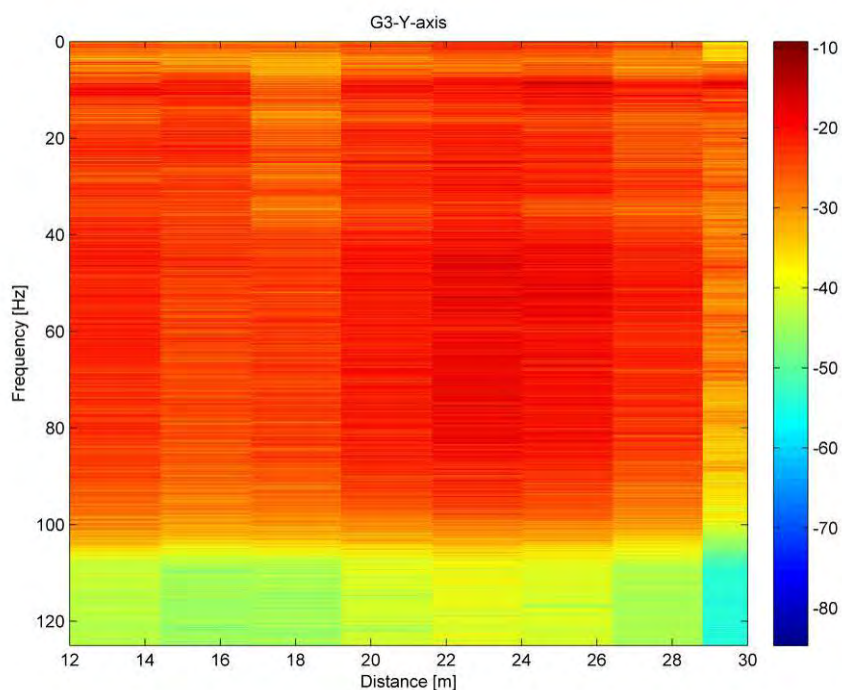
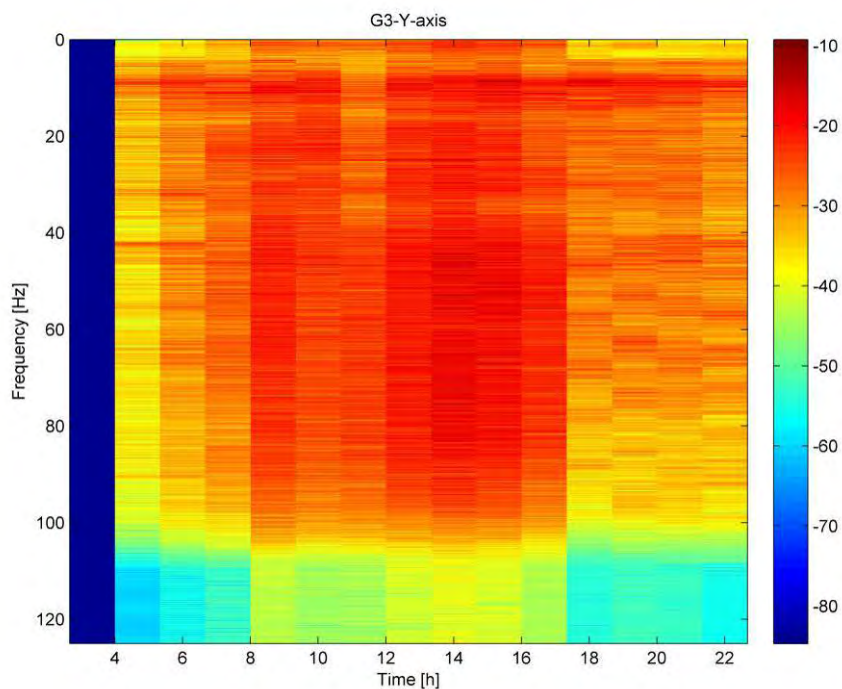


Figura. 5.17. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G3.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 120 di 201	Rev. 0

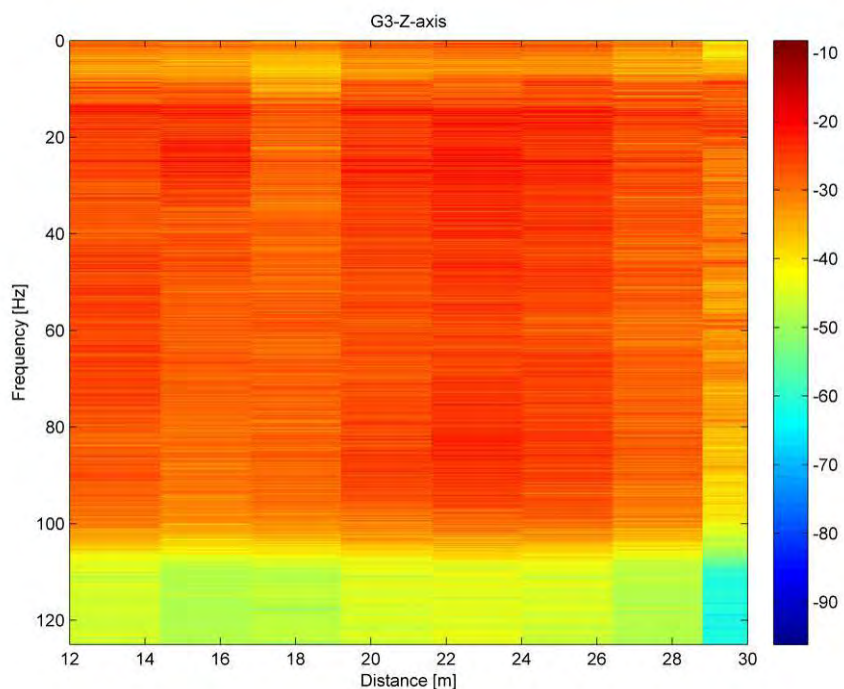
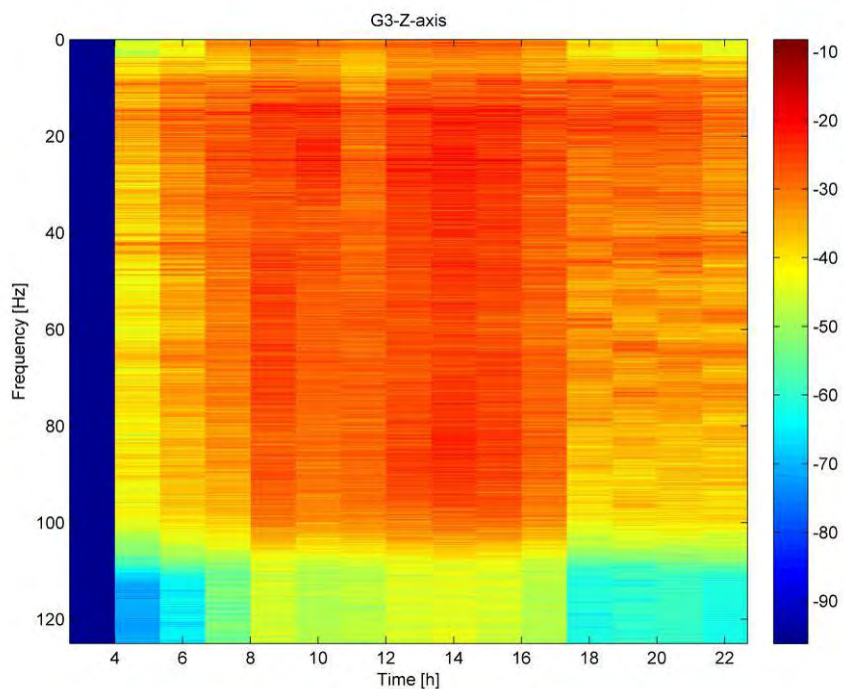


Figura. 5.18. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G3.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 121 di 201	Rev. 0

4.4 Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del sensore G4

In questo paragrafo viene stimata l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e propagatasi nel terreno dell'area compresa fra i geofoni G4 e G5.

Dapprima viene stimato il livello RMS dei segnali acquisiti dai geofoni G4 e G5 quando la testa della TBM si trova nelle immediate vicinanze del geofono G4 (28-06-2010); in seguito viene calcolato il rapporto di tali valori, espresso in dB. Questo ultimo valore, diviso per la differenza fra la distanza di G4 dalla testa della TBM e la distanza di G5 dalla testa della TBM (22 m circa), restituisce il valore dell'attenuazione da stimare.

Si noti come, in questo caso, il sito nella zona monitorata dal geofono G5 sia estremamente rumoroso e caratterizzato da fenomeni locali che inducono vibrazioni locali (da Fig. 4.22 a Fig 4.24), nella banda di frequenze di interesse (da Fig 4.28 a Fig 4.30) e molto probabilmente non connesse con i lavori di cantiere, quanto piuttosto dalla presenza di un metanodotto in funzione nelle immediate vicinanze. Ciò complica l'operazione di stima del livello di vibrazioni acquisite dal geofono G5 e dovuto allo scavo della TBM (Tab. 4.5) che, nei grafici RMS, è "mascherato" da quello dovuto alle vibrazioni spurie locali, di ampiezza superiore (circa comprese fra 0.01mm/s e 0.02mm/s). La stima del decadimento dell'onda vibrazionale propagatasi nell'area compresa fra i geofoni G4 e G5 è pari a 0.7dB/m per l'asse longitudinale, trasversale e verticale.

Tab. 4.4. Valori RMS dei segnali acquisiti dal geofono G4.

Geofono G4	Asse x	Asse y	Asse z
<i>Velocità in assenza di attività [mm/s]</i>	0.010	0.010	0.004
<i>Velocità in presenza di attività [mm/s]</i>	0.010	0.010	0.004
<i>Velocità nella fase di spinta [mm/s]</i>	0.022	0.021	0.012

Tab. 4.5. Valori RMS dei segnali acquisiti dal geofono G5.

Geofono G5	Asse x	Asse y	Asse z
<i>Velocità in assenza di attività [mm/s]</i>	0.002	0.003	0.001
<i>Velocità in presenza di attività [mm/s]</i>	0.002	0.003	0.001
<i>Velocità nella fase di spinta [mm/s]</i>	0.004	0.004	0.002

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 122 di 201	Rev. 0

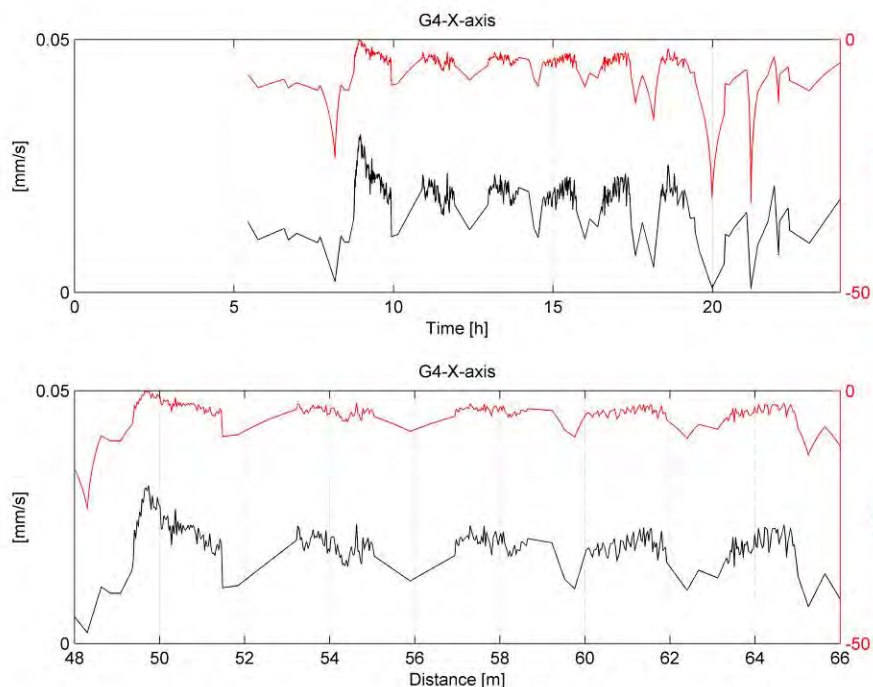


Figura 4.19. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G4.

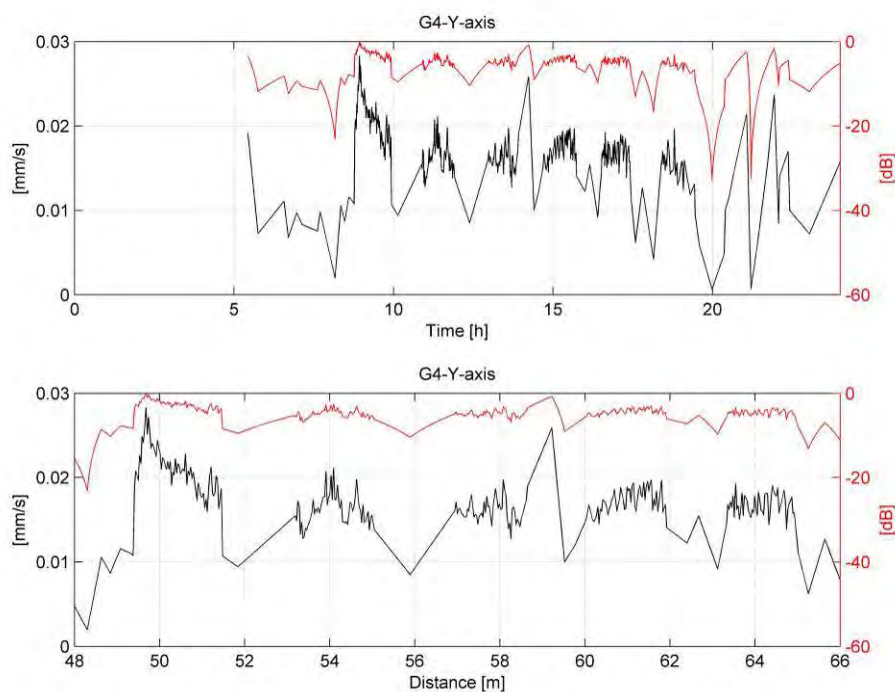


Figura 4.20. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G4.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 123 di 201	Rev. 0

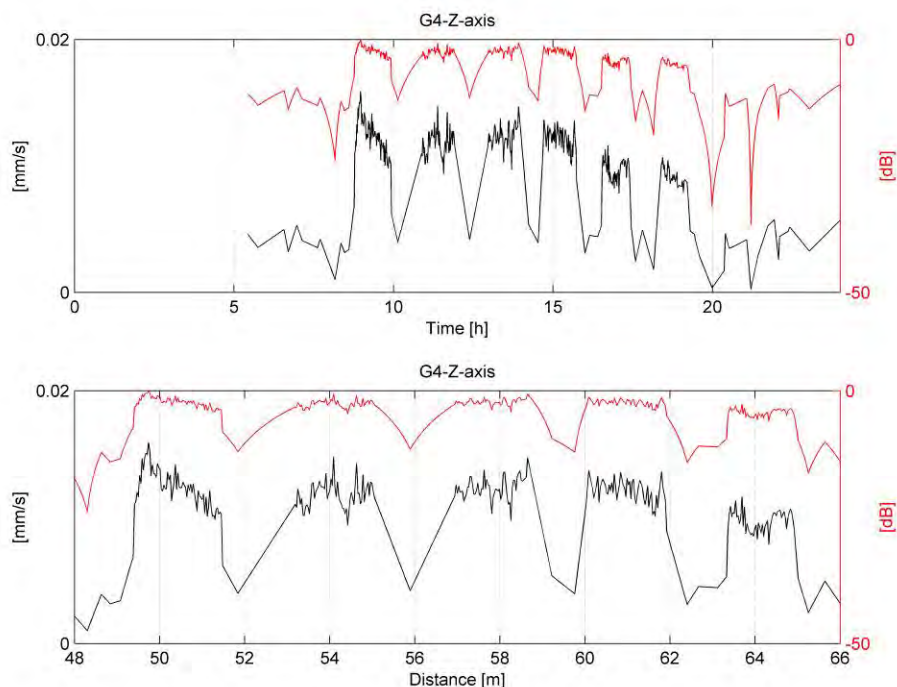


Figura 4.21. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G4.

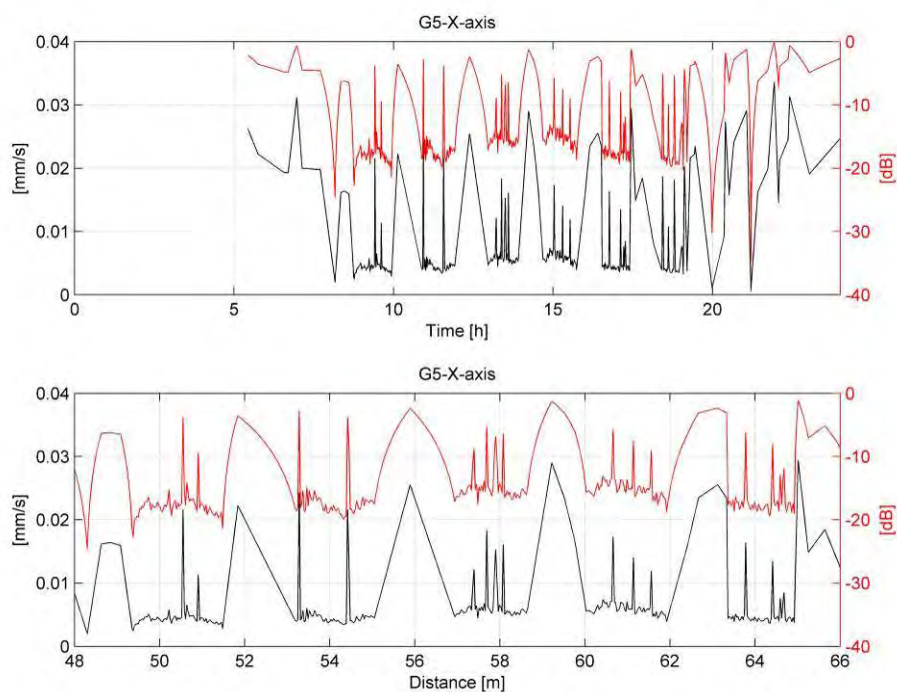


Figura 4.22. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G5.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 124 di 201	Rev. 0

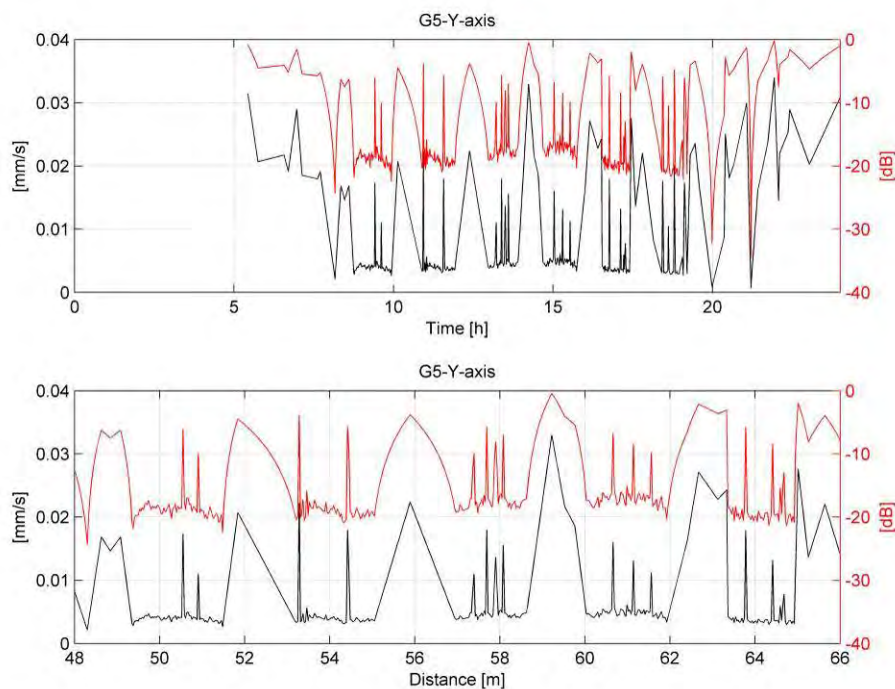


Figura 4.23. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G5.

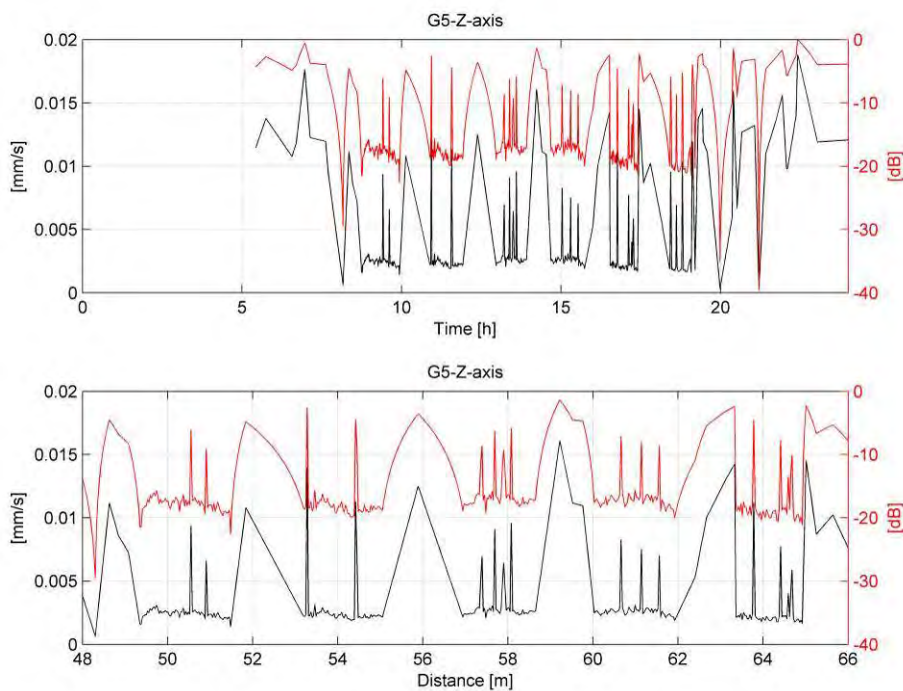


Figura 4.24. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G5.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 125 di 201	Rev. 0

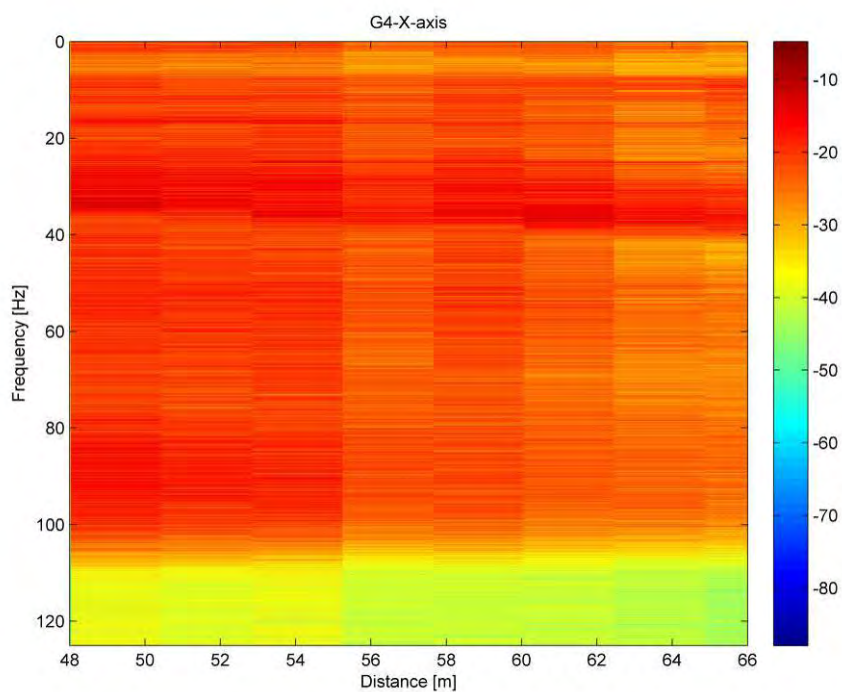
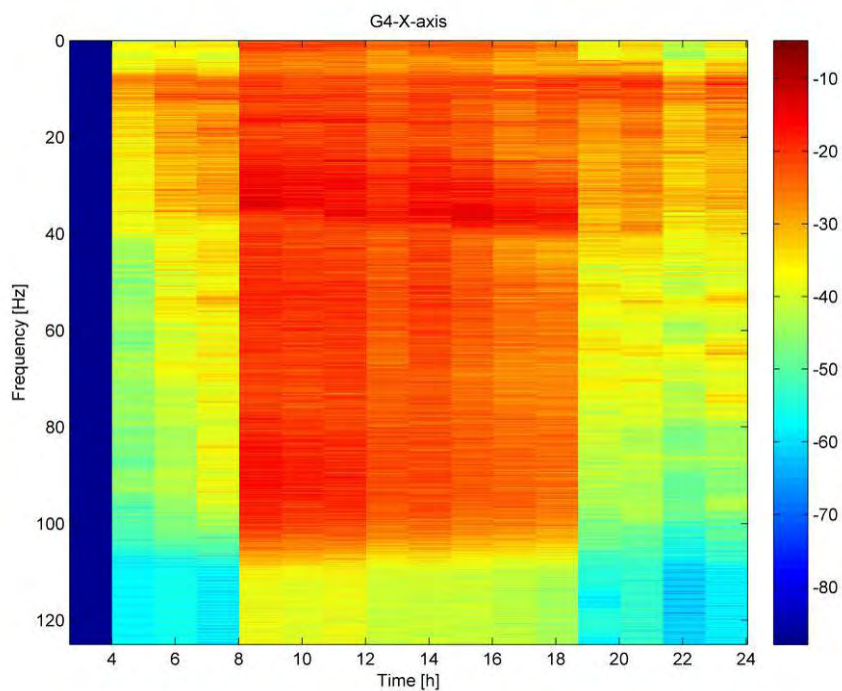


Figura 4.25. *Spetrogramma del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G4.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 126 di 201	Rev. 0

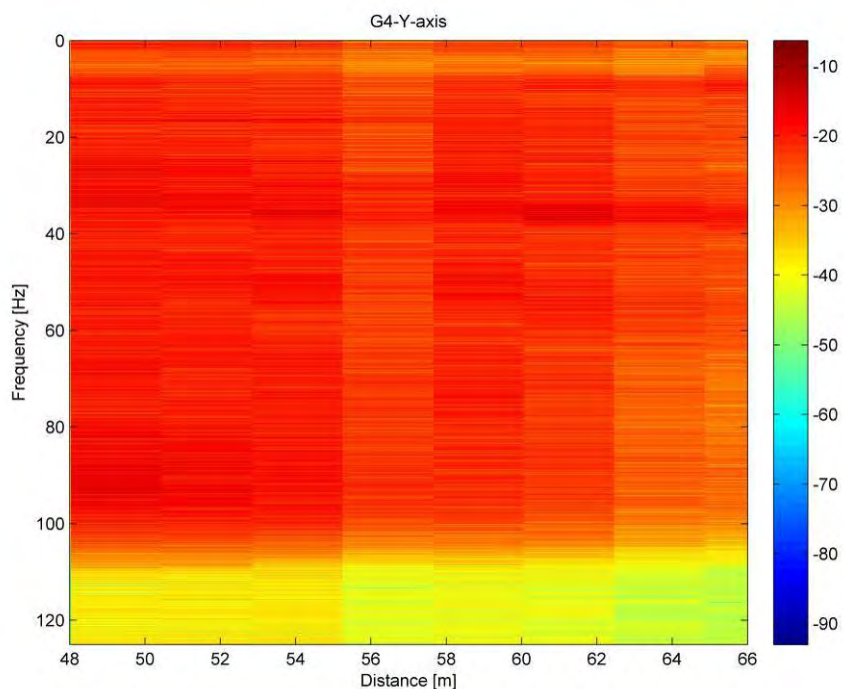
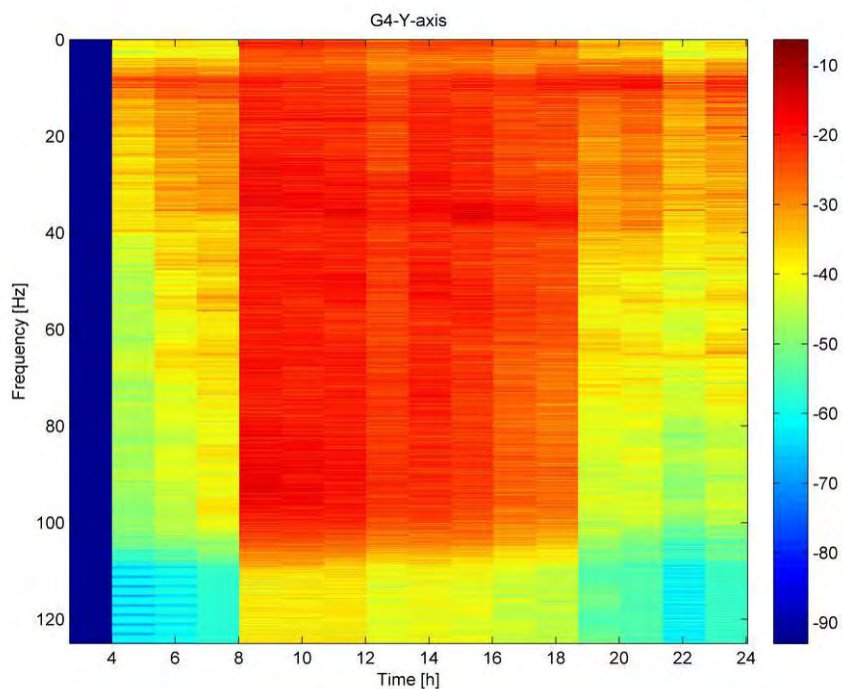


Figura 4.26. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G4.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 127 di 201	Rev. 0

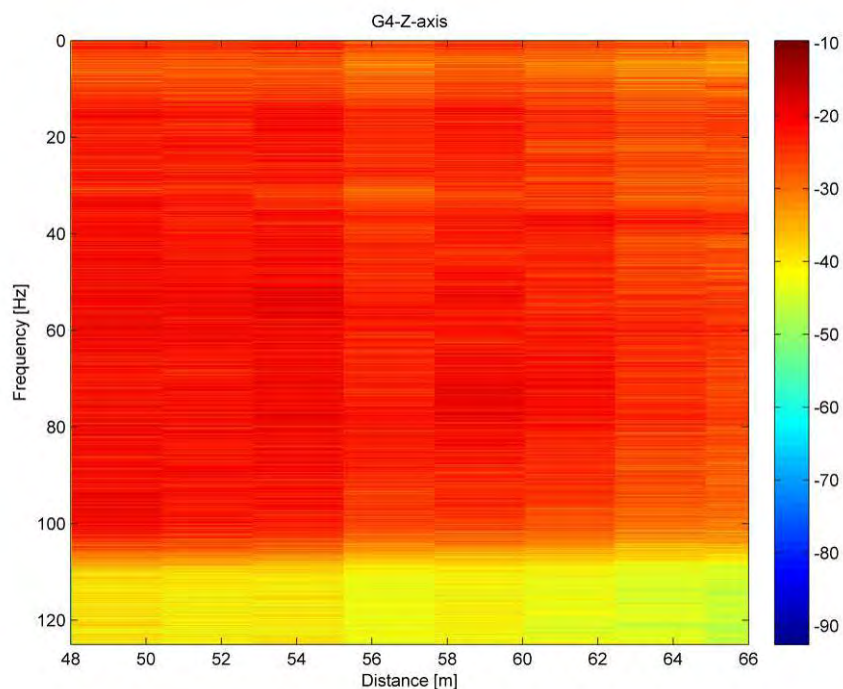
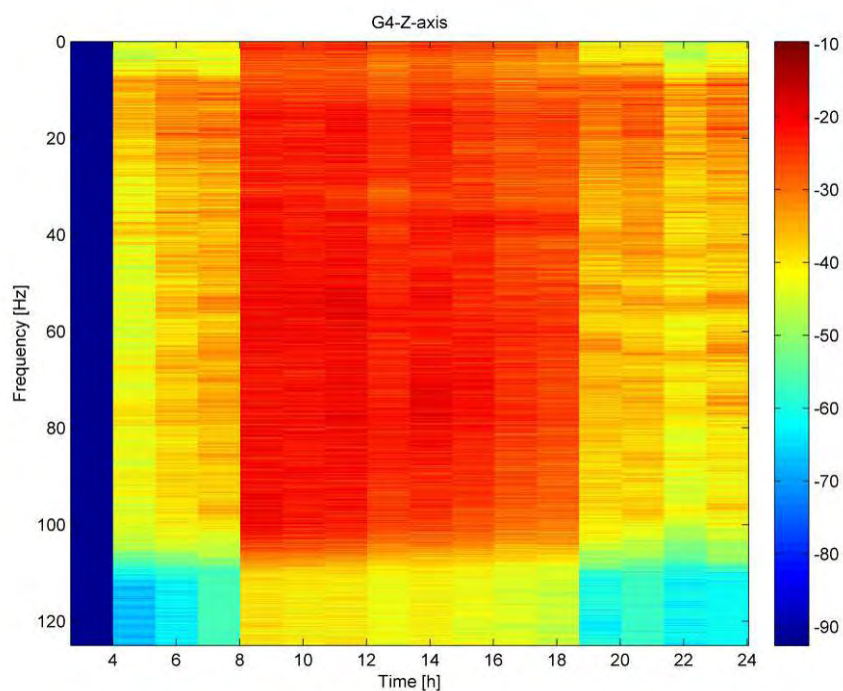


Figura 4.27. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G4.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 128 di 201	Rev. 0

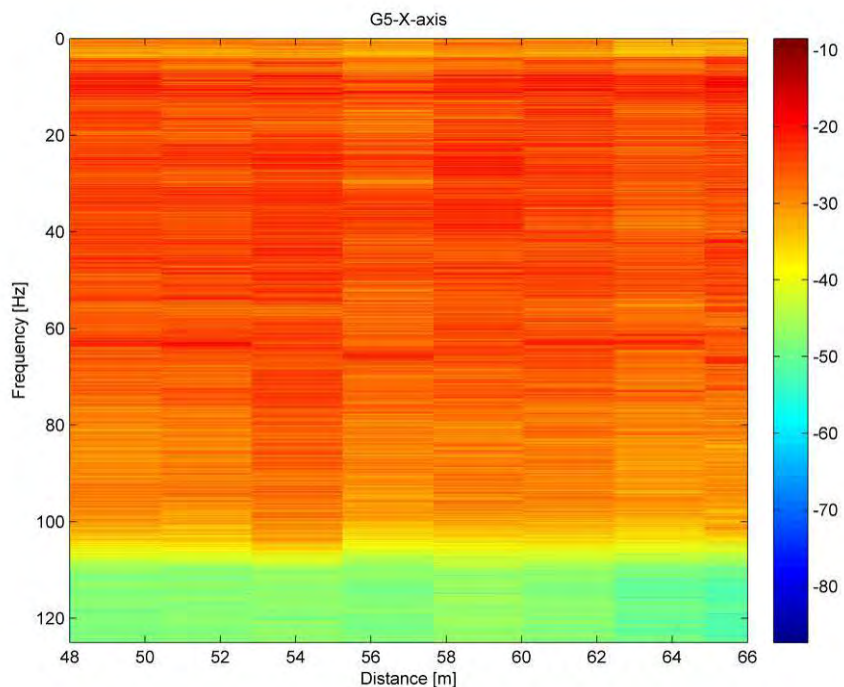
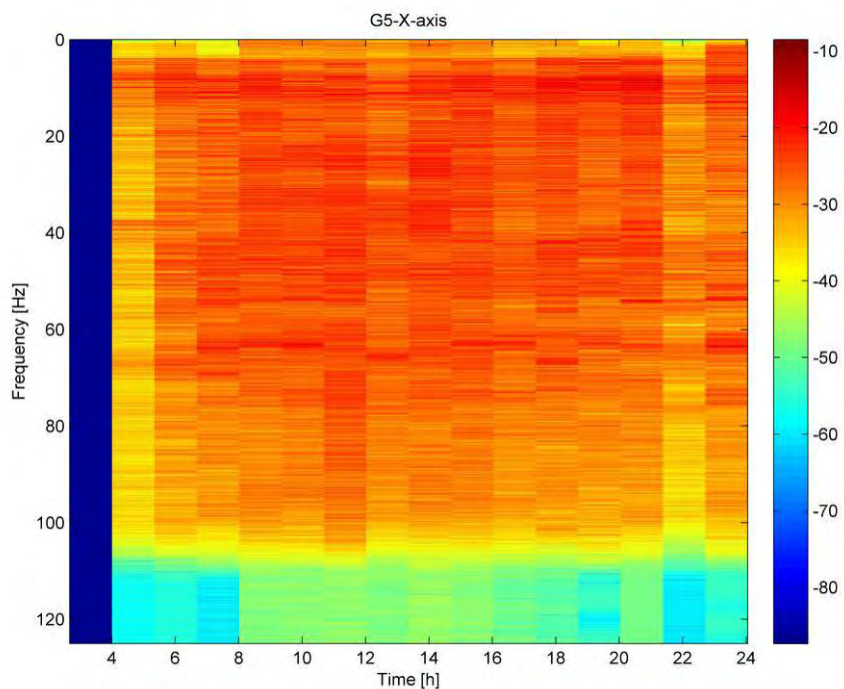


Figura 4.28. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G5.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 129 di 201	Rev. 0

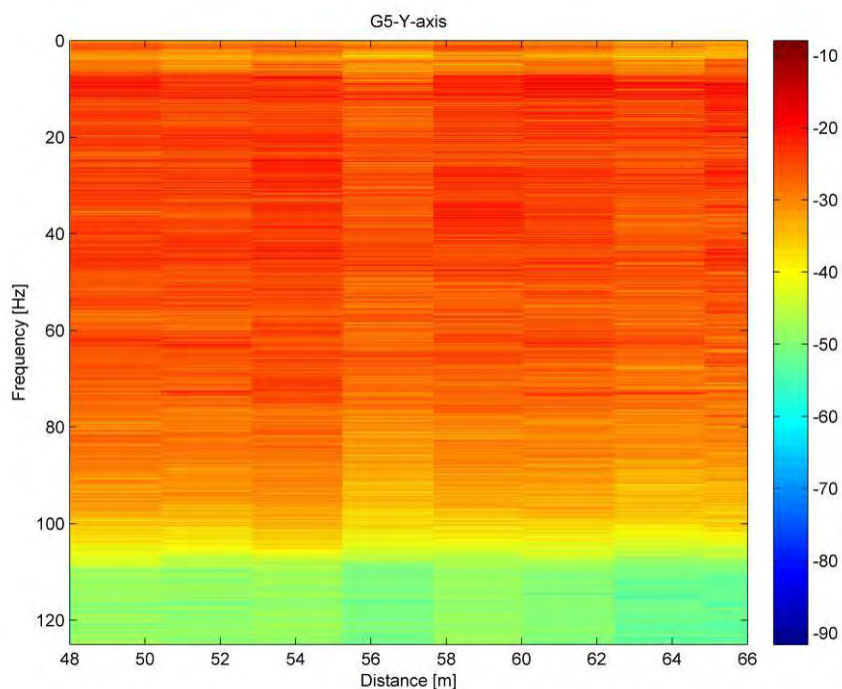
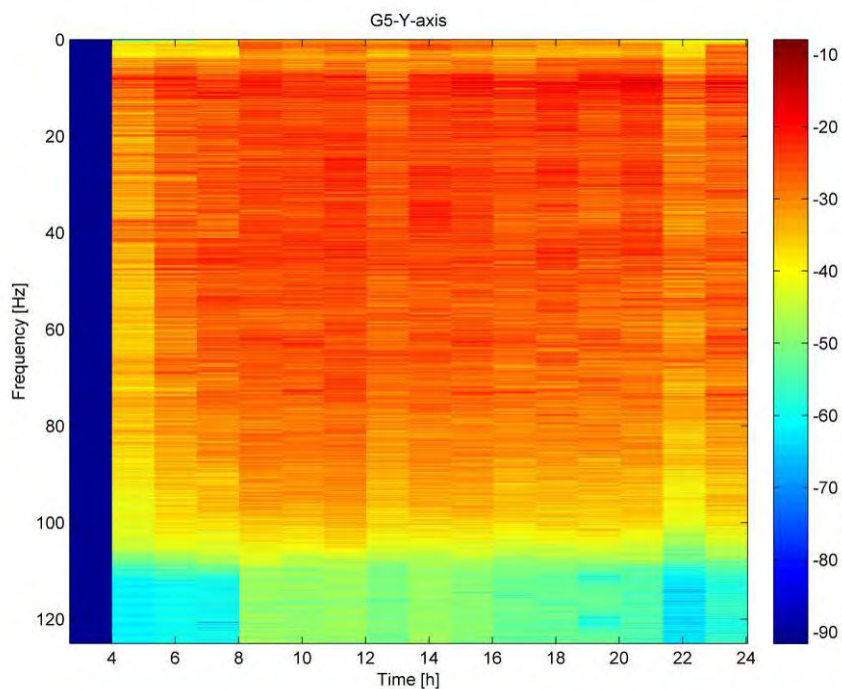


Figura 4.29. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G5.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 130 di 201	Rev. 0

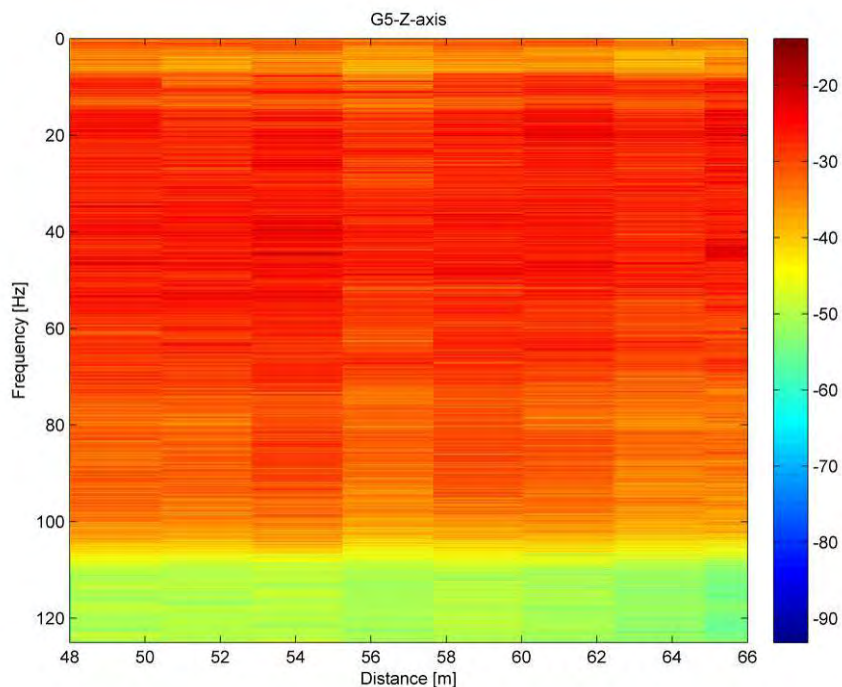
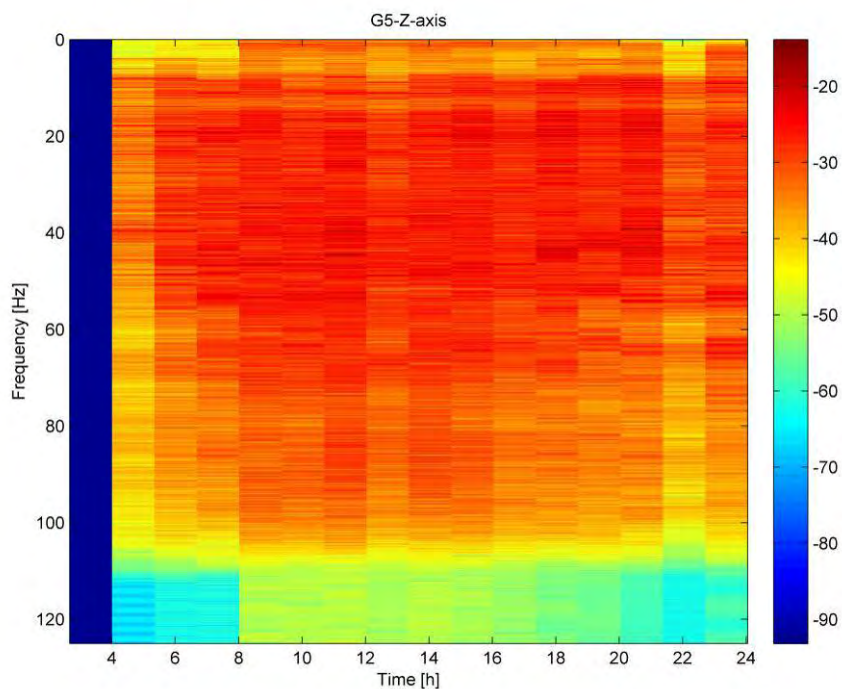


Figura 4.30. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G5.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 131 di 201	Rev. 0

4.5 Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del sensore G6

In questo paragrafo ci si propone di stimare l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e propagatasi nel terreno dell'area compresa fra i geofoni G6 e G7, seguendo la stessa procedura applicata nei paragrafi precedenti.

In questo caso si nota una anomalia nell'analisi del livello RMS dei segnali acquisiti dai geofoni G6 e G7 mentre la testa della TBM si trovava (o avrebbe dovuto trovarsi) nelle immediate vicinanze del geofono G6 (07-07-2010). Le figure da Fig. 4.31 a Fig. 4.36, mostrano che l'ampiezza delle vibrazioni acquisite dal geofono G7 è superiore a quella delle stesse vibrazioni acquisite dal geofono G6. Ciò potrebbe essere spiegato ipotizzando una deviazione dello scavo verso G7, rispetto al tracciato di progetto. Non essendo nota la posizione esatta della testa della TBM, non è possibile stimare l'attenuazione di sito nell'area compresa fra i geofoni G6 e G7.

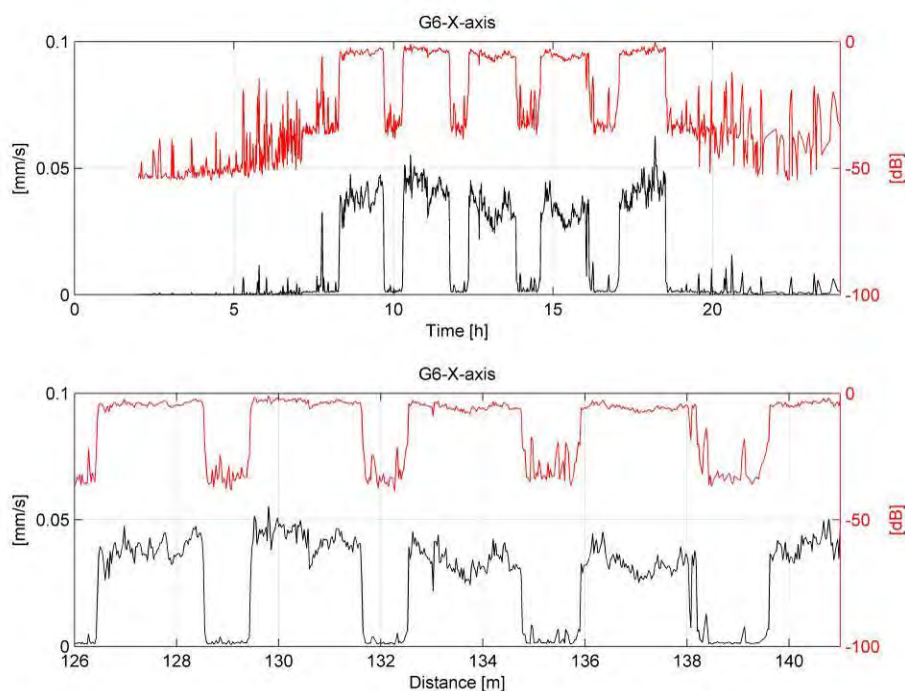


Figura 4.31. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G6.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 132 di 201	Rev. 0

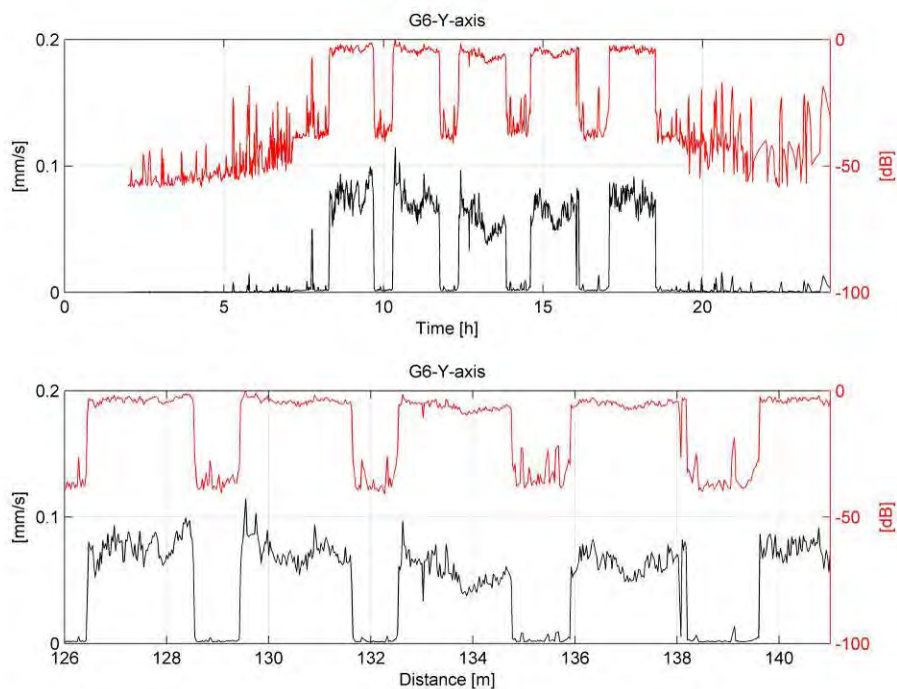


Figura 4.32. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G6.

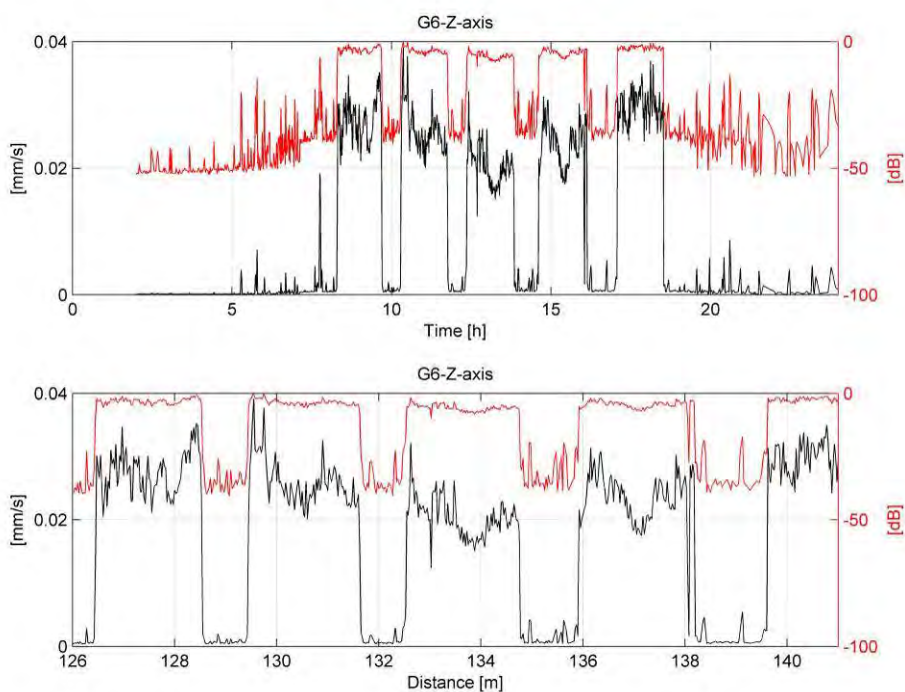


Figura 4.33. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G6.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 133 di 201	Rev. 0

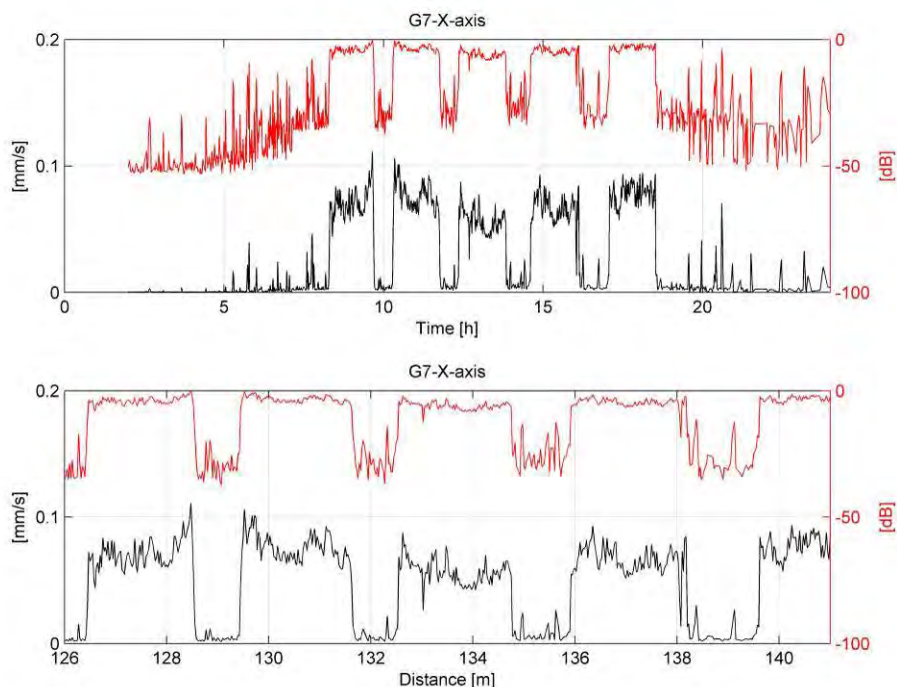


Figura 4.34. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G7.

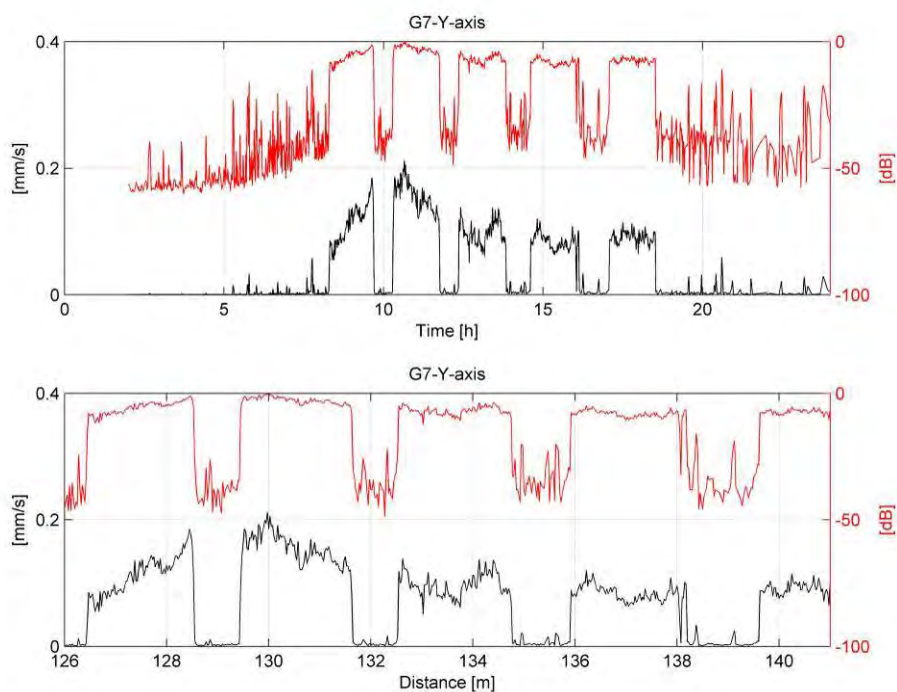


Figura 4.35. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G7.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 134 di 201	Rev. 0

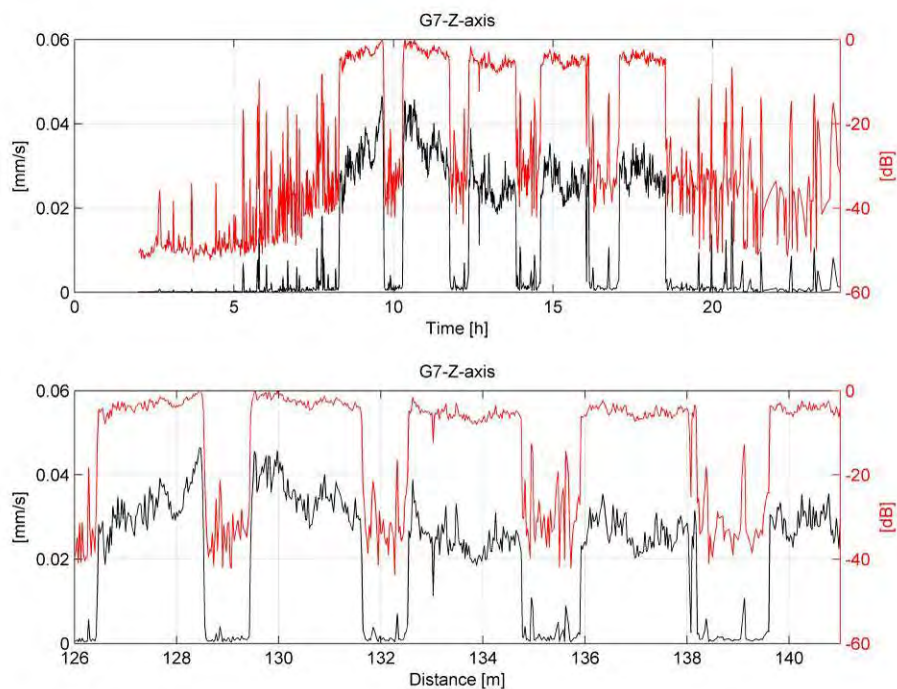


Figura 4.36. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G7.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 135 di 201	Rev. 0

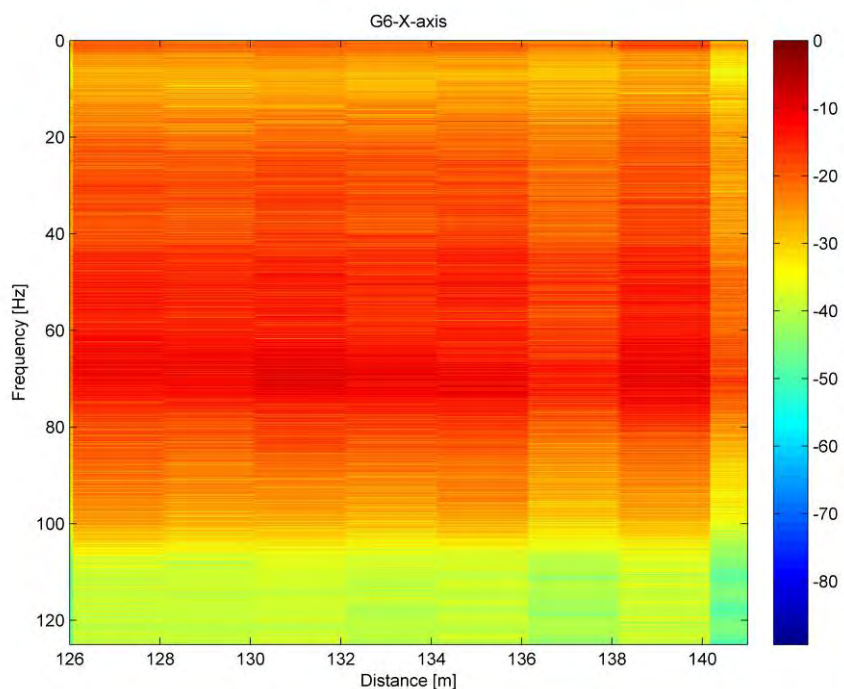
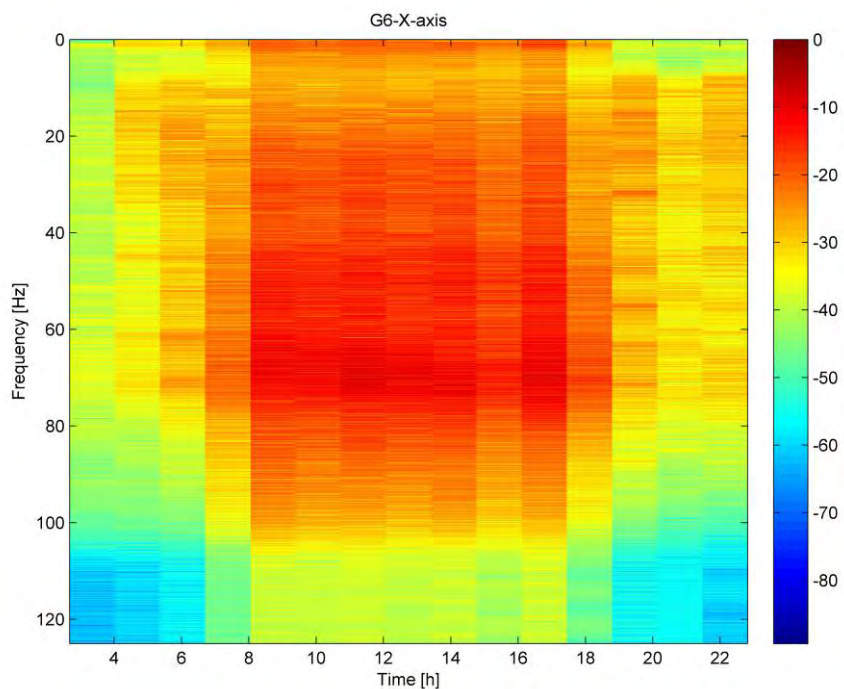


Figura 4.37. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G6.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 136 di 201	Rev. 0

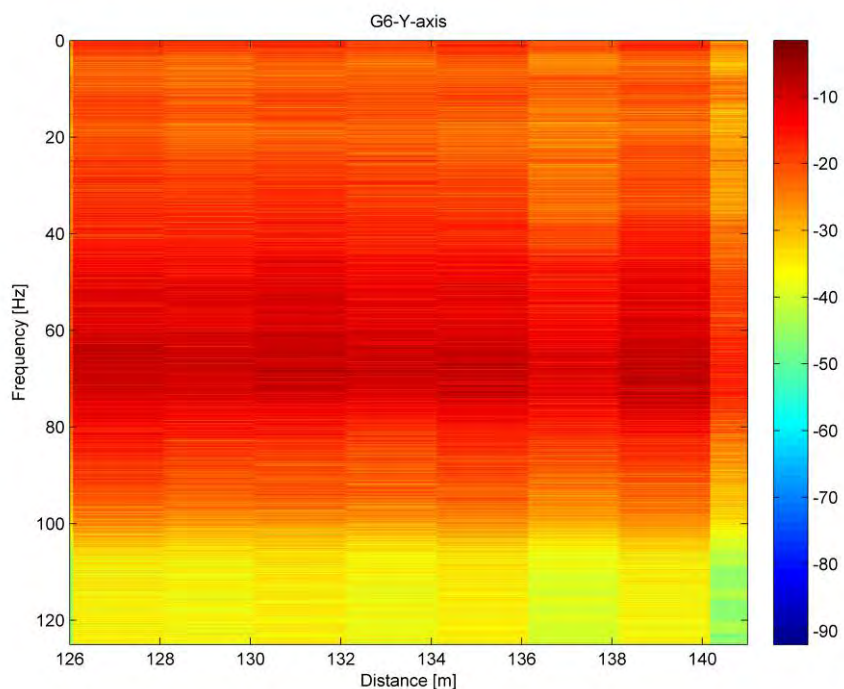
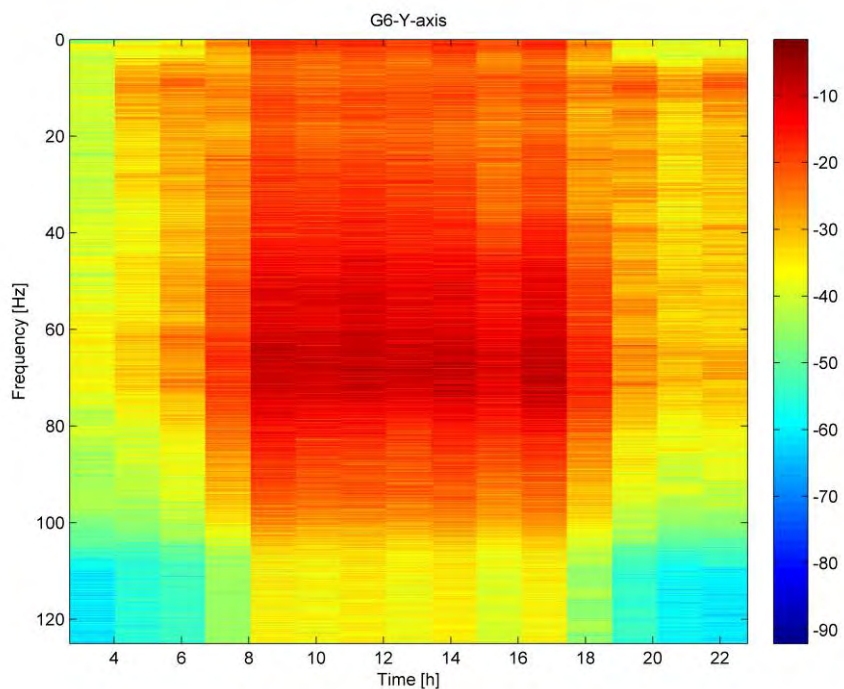


Figura 4.38. *Spetrogramma del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G6.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 137 di 201	Rev. 0

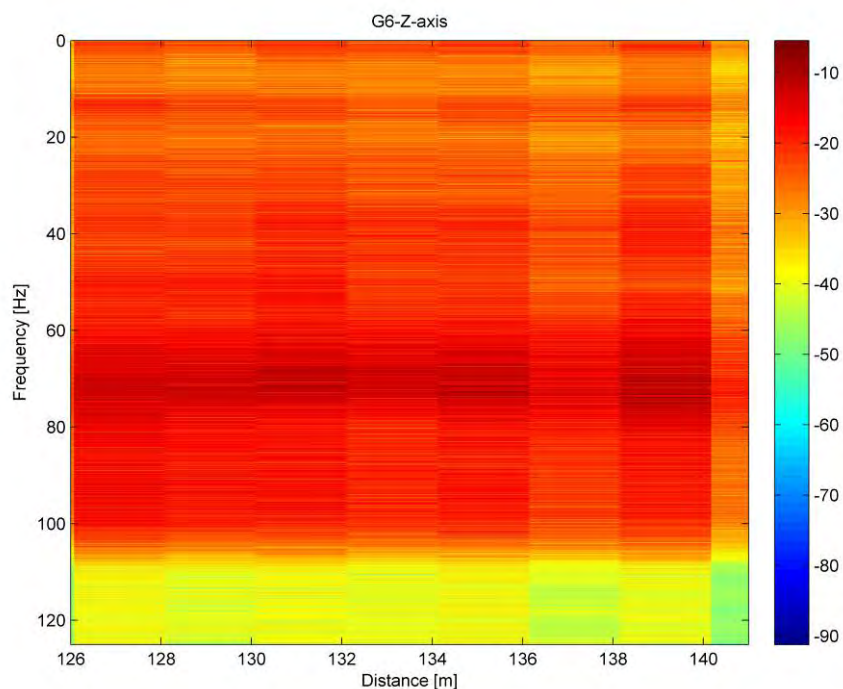
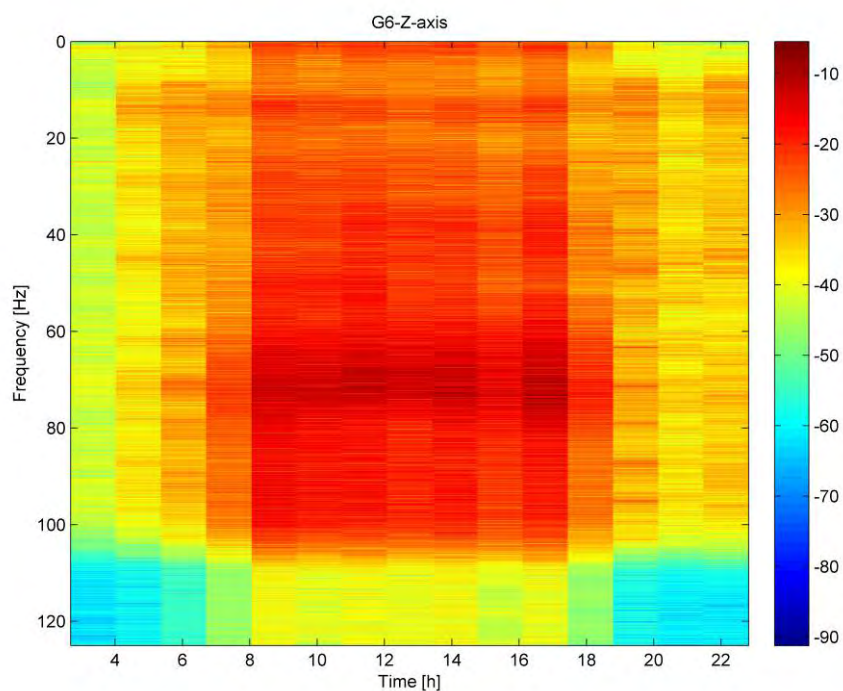


Figura 4.39. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G6.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 138 di 201	Rev. 0

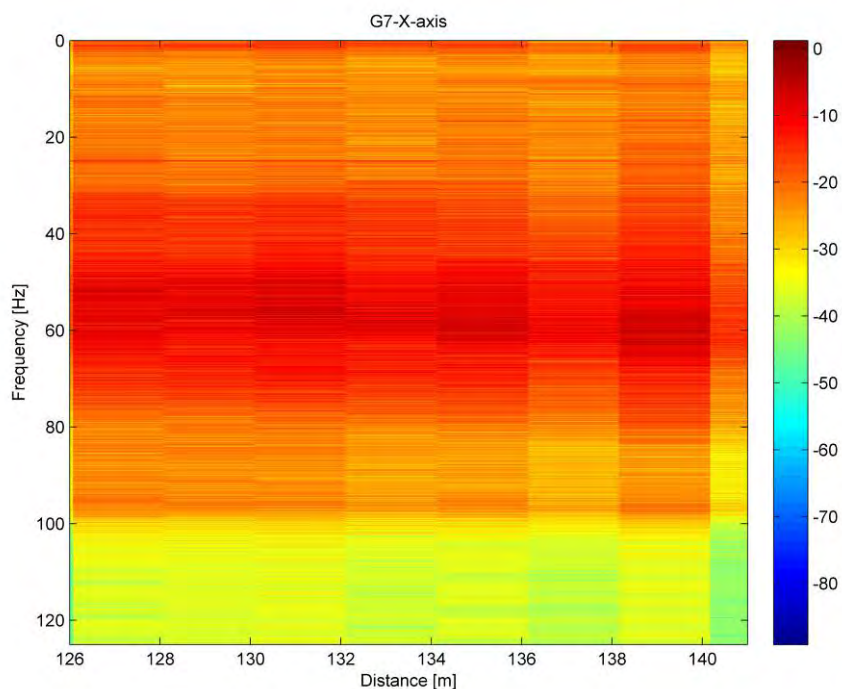
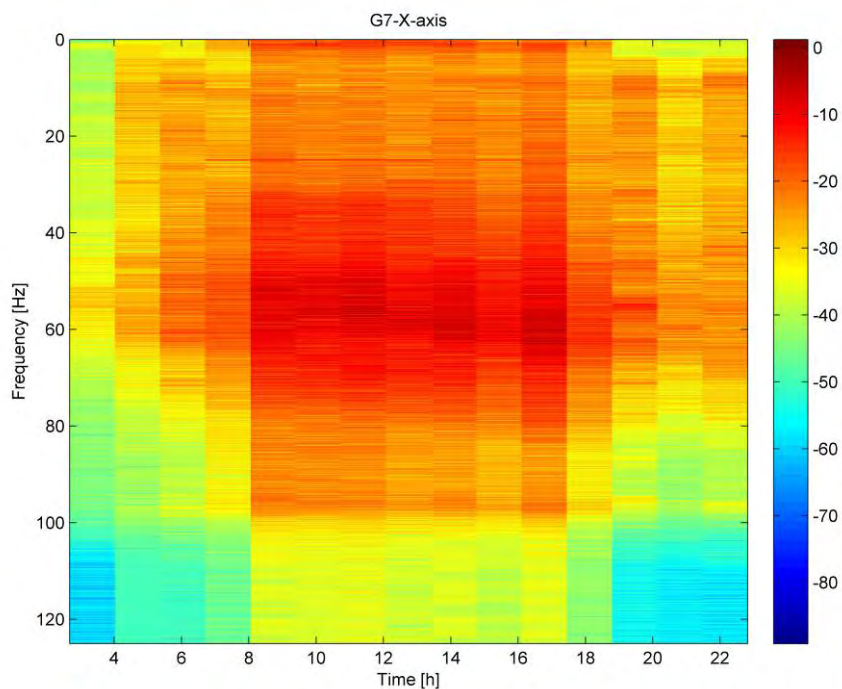


Figura 4.40. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G7.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 139 di 201	Rev. 0

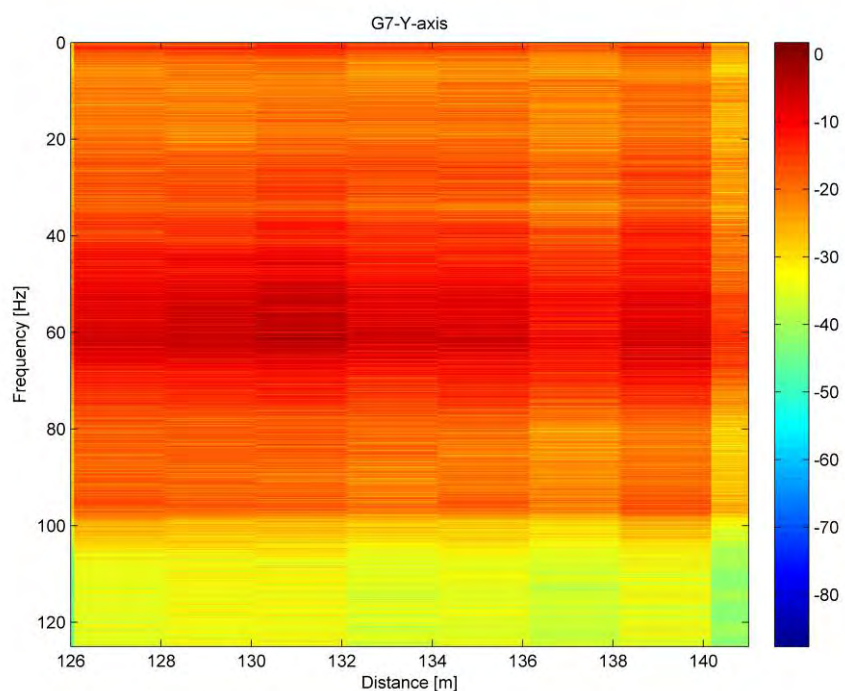
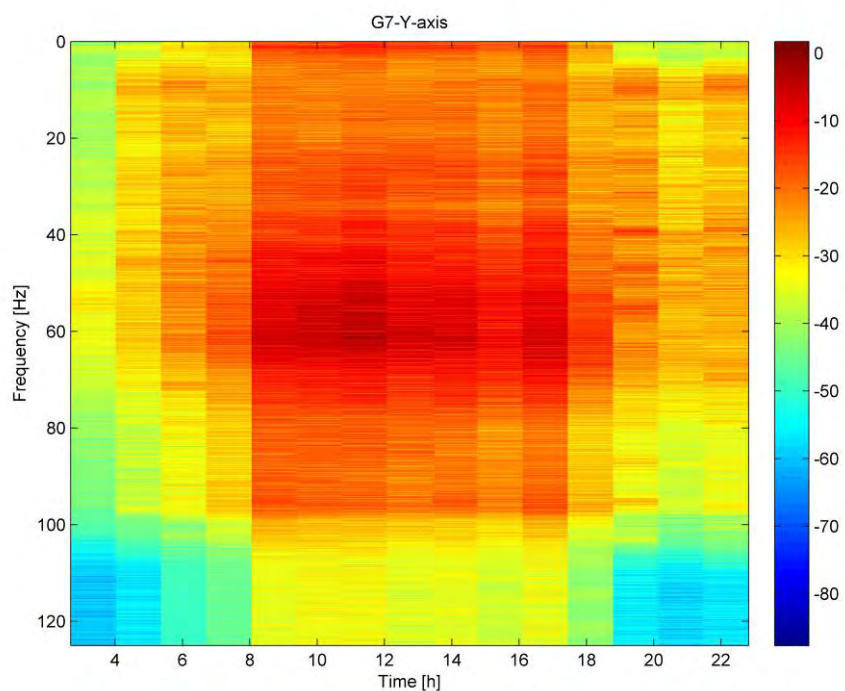


Figura 4.41. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G7.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 140 di 201	Rev. 0

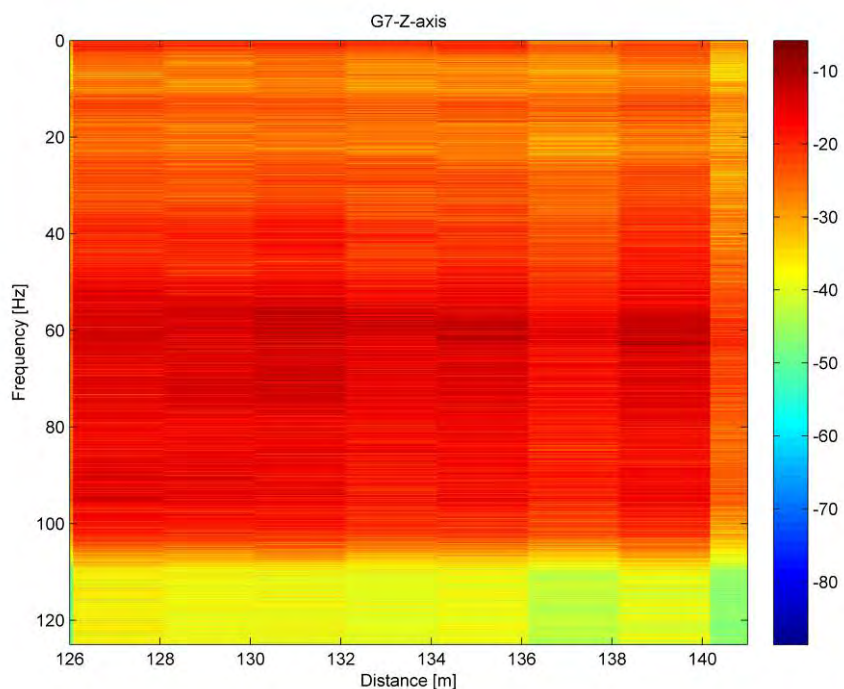
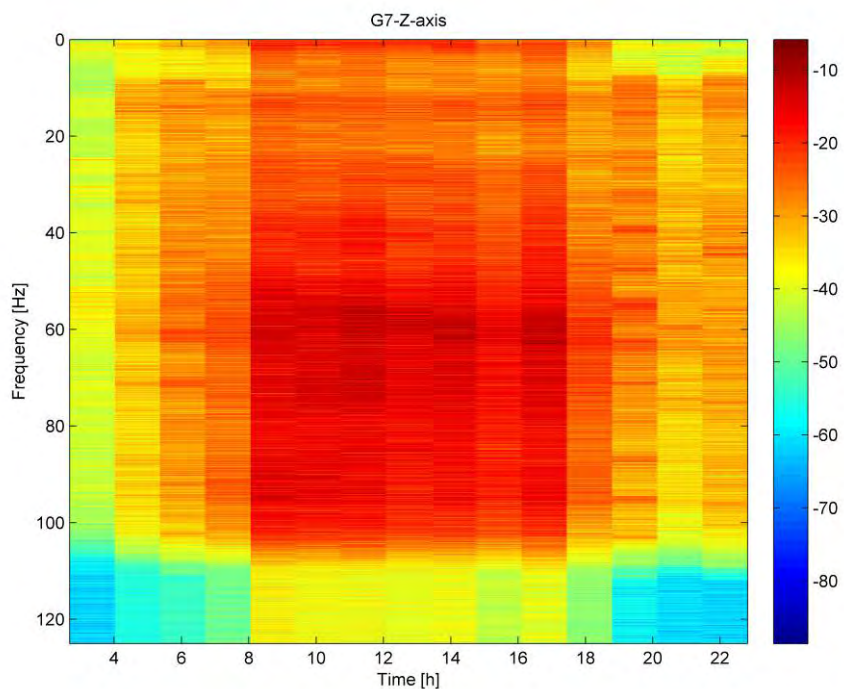


Figura 4.42. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G7.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 141 di 201	Rev. 0

4.6 Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del sensore G8

In questo paragrafo ci si propone di stimare l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e propagatasi nel terreno dell'area compresa fra i geofoni G8 e G9, seguendo la stessa procedura applicata nei paragrafi precedenti. Tuttavia, analizzando il livello RMS dei segnali acquisiti dai geofoni G8 e G9 quando la testa della TBM dovrebbe trovarsi nelle immediate vicinanze del geofono G8 (10-07-2010), ci si rende conto (da Fig. 4.43 Fig 4.48) che l'ampiezza delle vibrazioni acquisite dal geofono G9 è superiore a quella delle stesse vibrazioni acquisite dal geofono G8. Ciò confermerebbe l'ipotesi di deviazione dello scavo, rispetto al tracciato di progetto, assunta nel paragrafo precedente. Anche in questo caso, non essendo nota la posizione esatta della testa della TBM, non è possibile stimare l'attenuazione di sito nell'area compresa fra i geofoni G8 e G9.

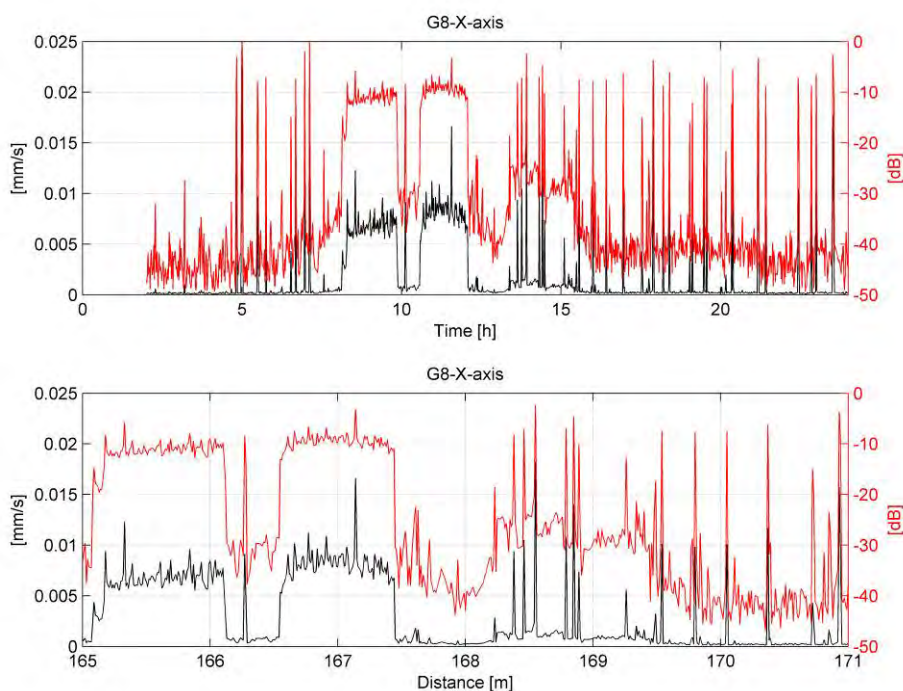


Figura 4.43. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G8.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 142 di 201	Rev. 0

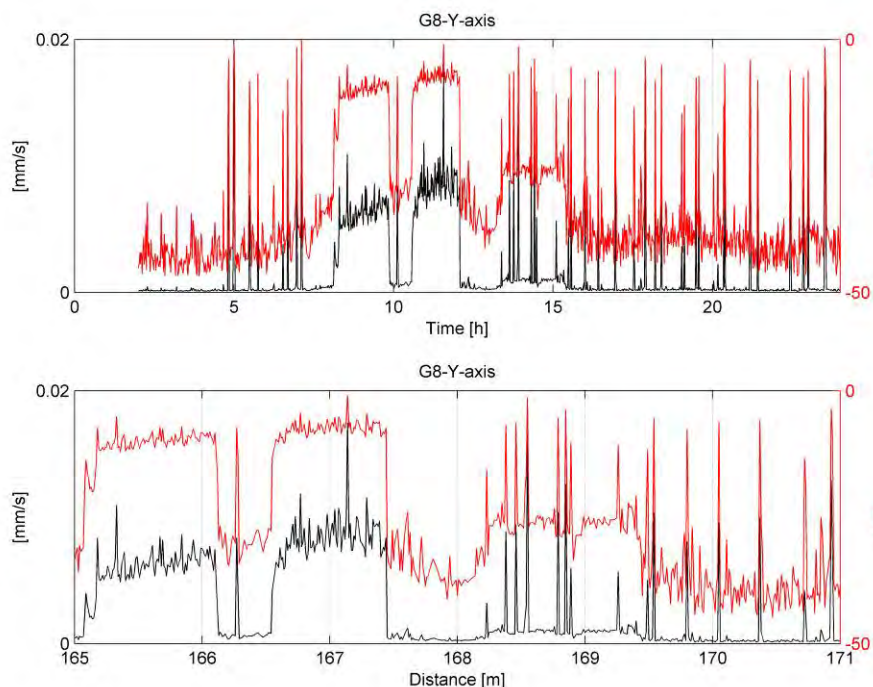


Figura 4.44. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G8.

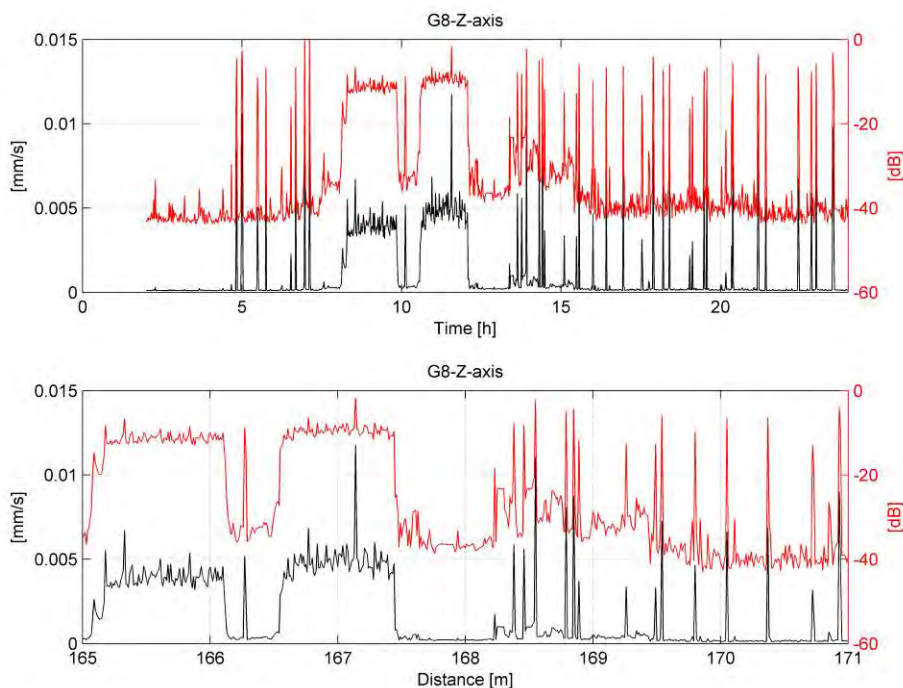


Figura 4.45. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G8.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 143 di 201	Rev. 0

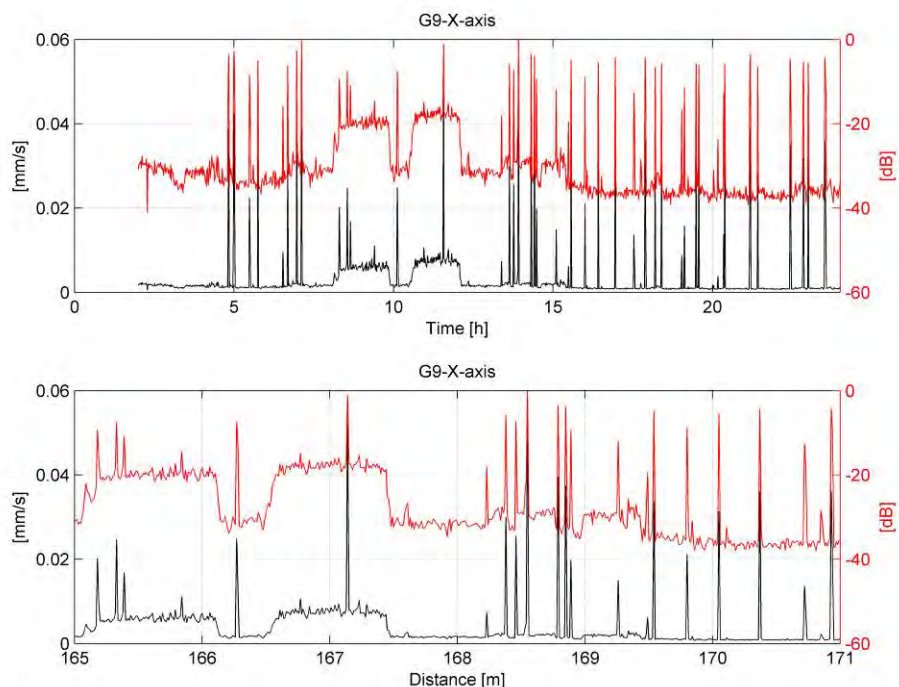


Figura 4.46. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G9.

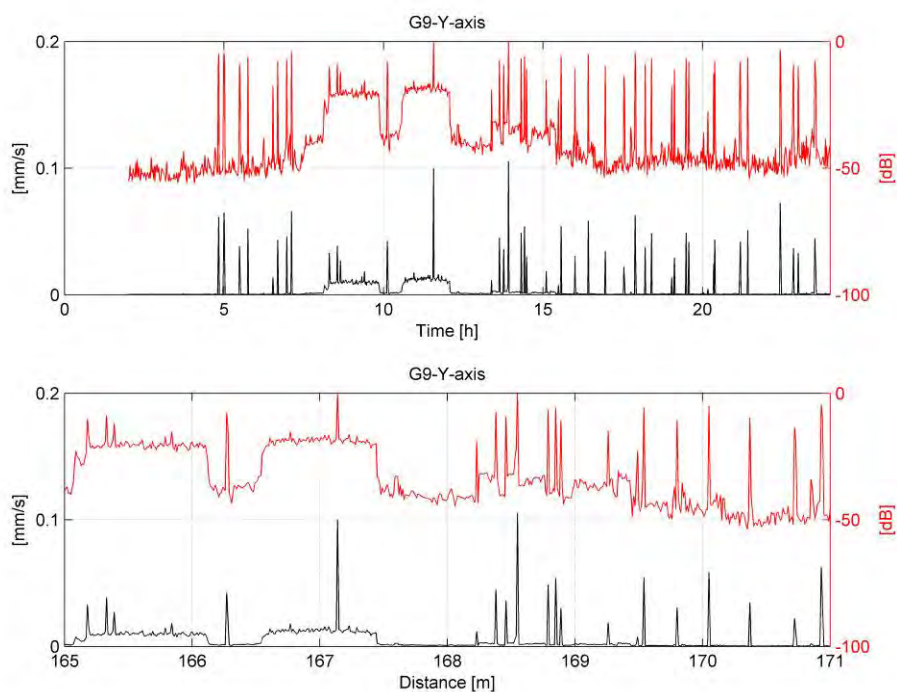


Figura 4.47. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G9.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 144 di 201	Rev. 0

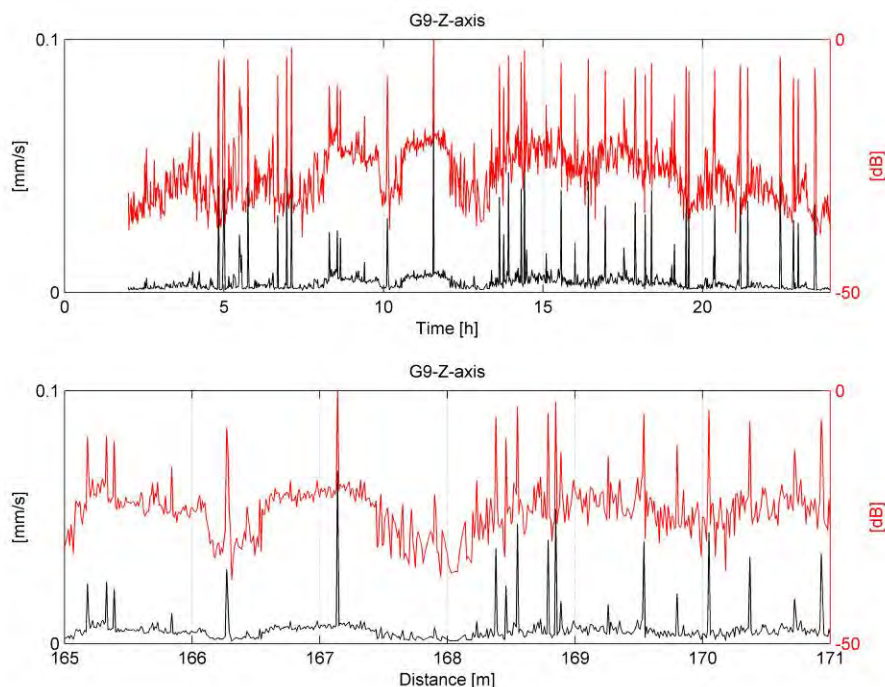


Figura 4.48. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G9.

Si noti come, anche in questo caso, il sito nella zona monitorata dai geofoni G8 e G9 sia estremamente rumoroso e caratterizzato da fenomeni locali che inducono vibrazioni locali, molto probabilmente non connesse con i lavori di cantiere, quanto piuttosto dalla presenza di un metanodotto in funzione nelle immediate vicinanze.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 145 di 201	Rev. 0

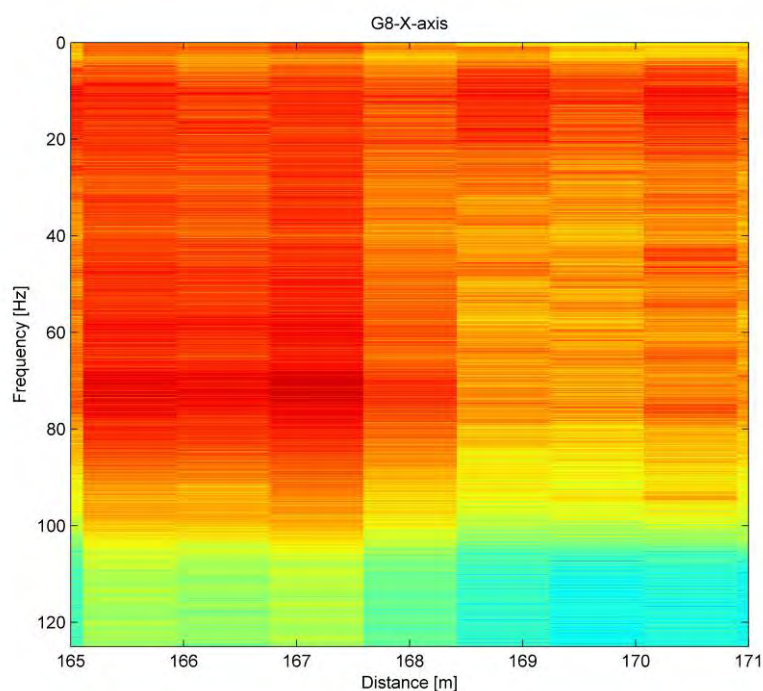
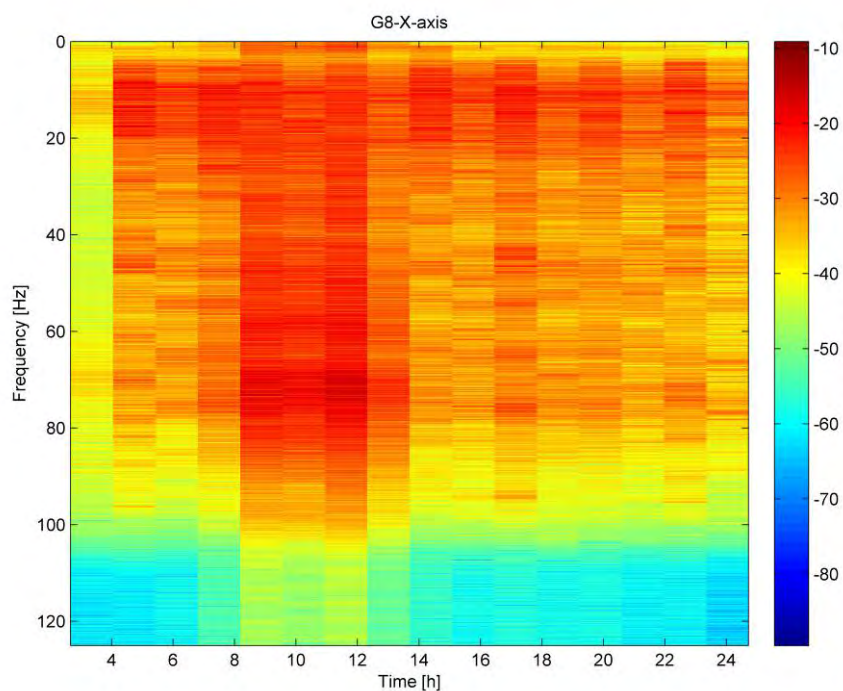


Figura 4.49. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G8.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 146 di 201	Rev. 0

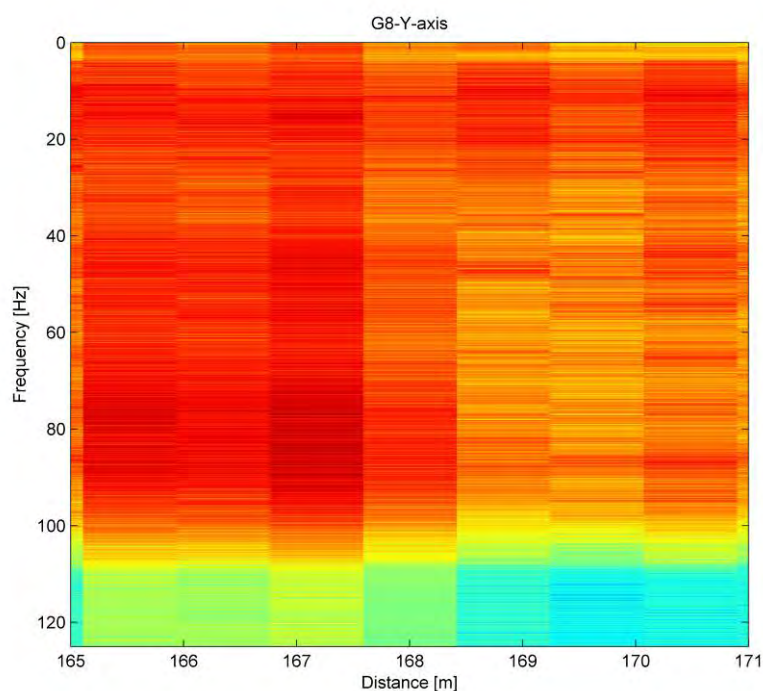
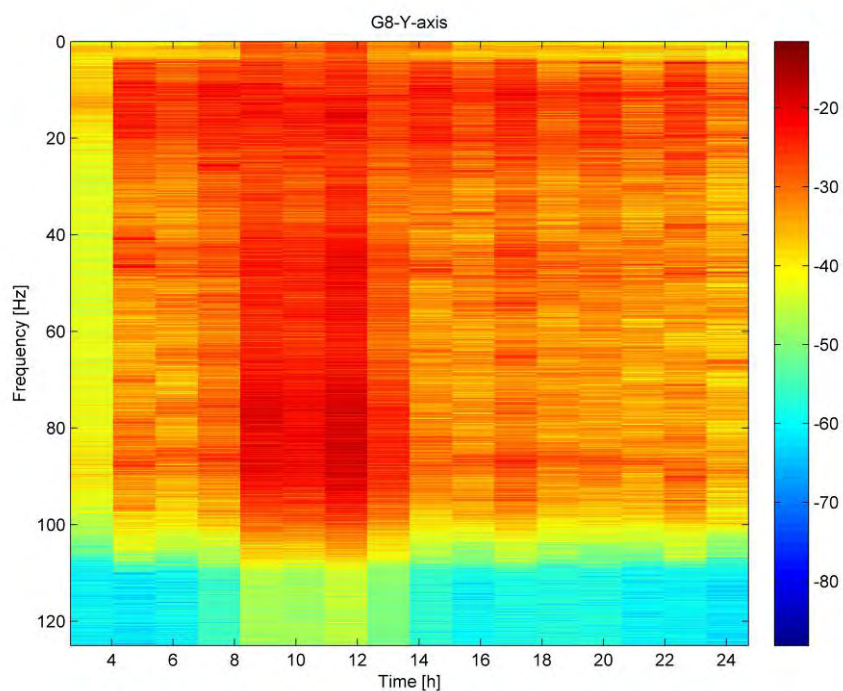


Figura 4.50. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G8.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 147 di 201	Rev. 0

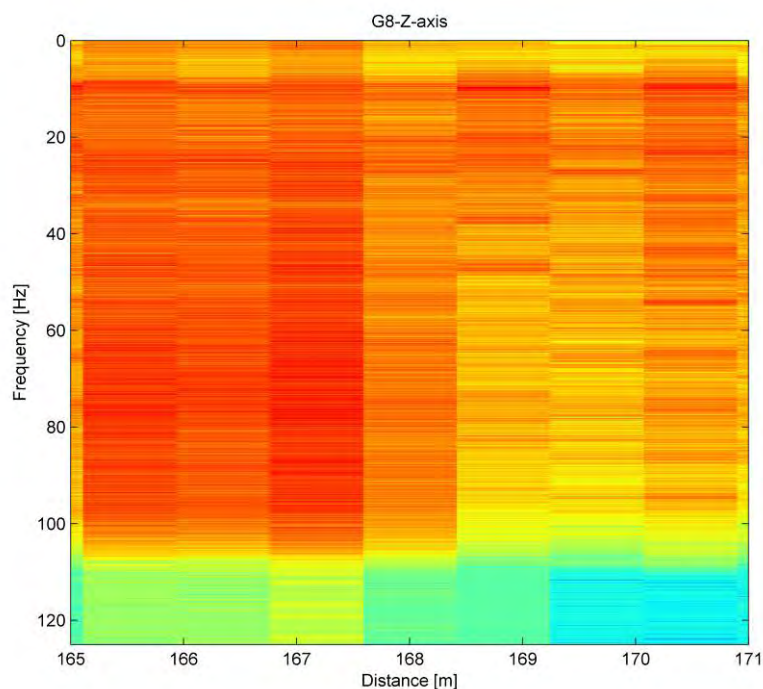
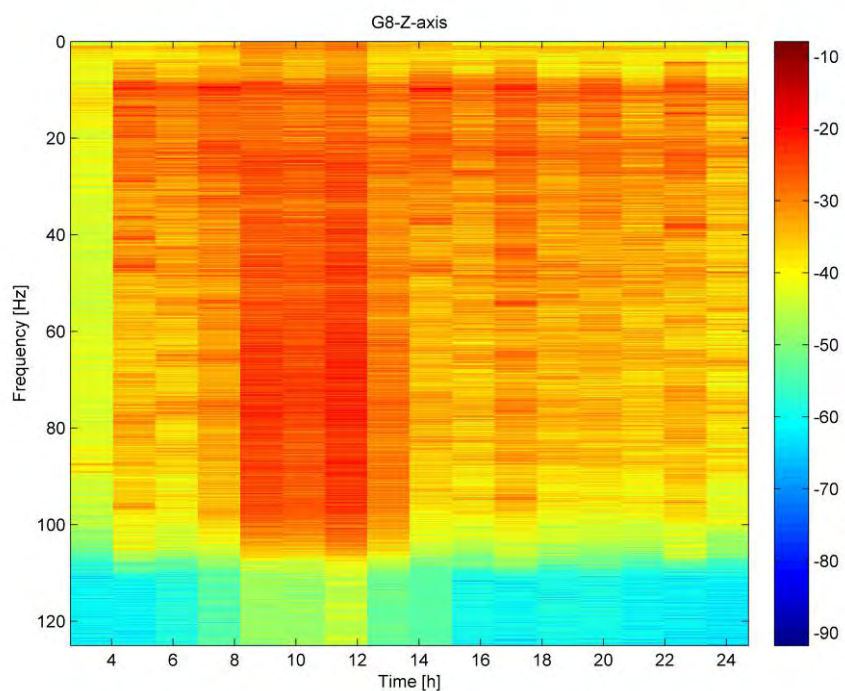


Figura 4.51. *Spetrogramma del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G8.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 148 di 201	Rev. 0

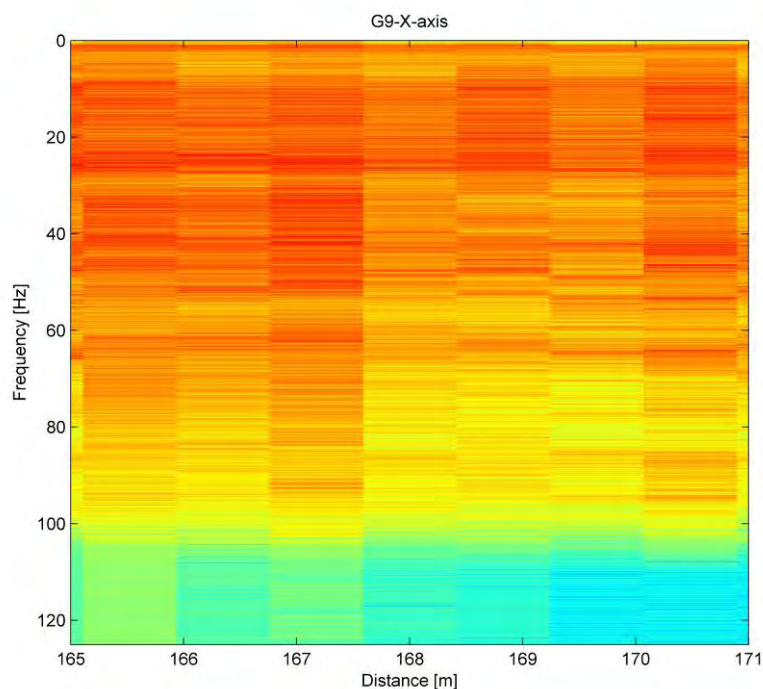
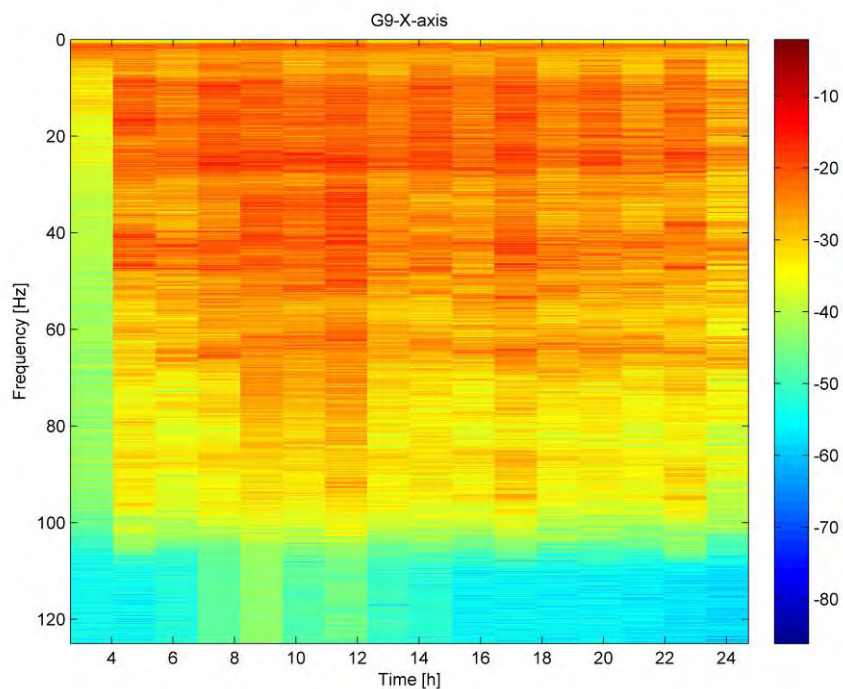


Figura 4.52. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G9.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 149 di 201	Rev. 0

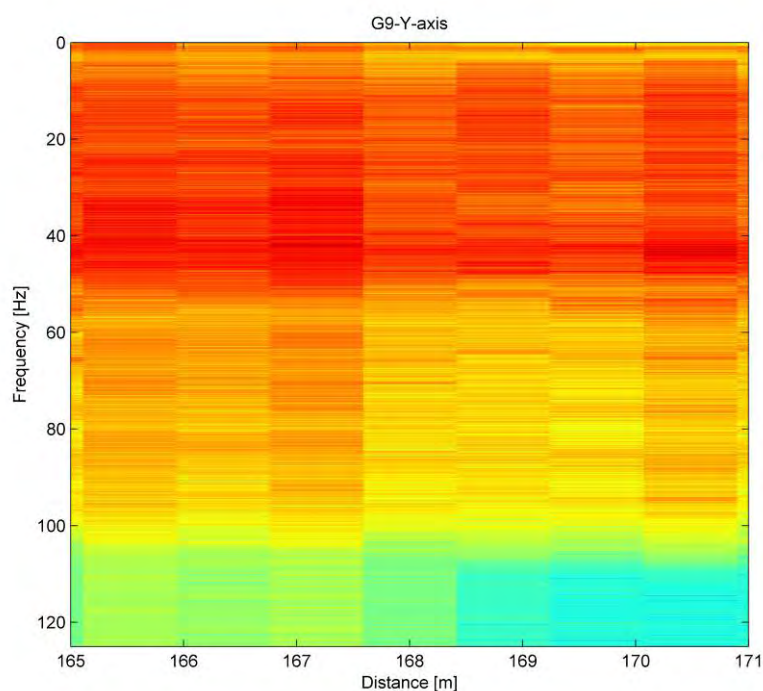
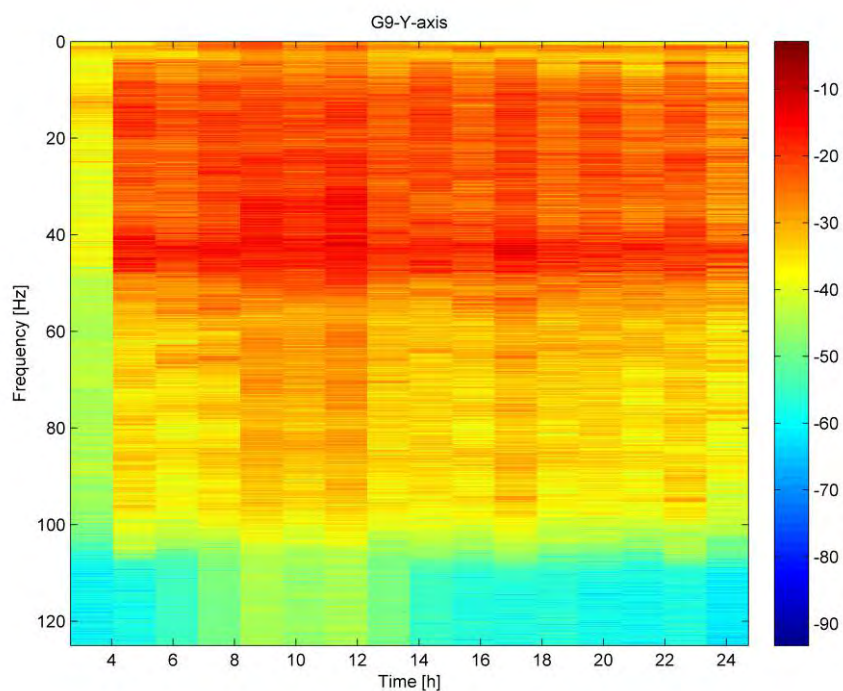


Figura 4.53. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G9.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 150 di 201	Rev. 0

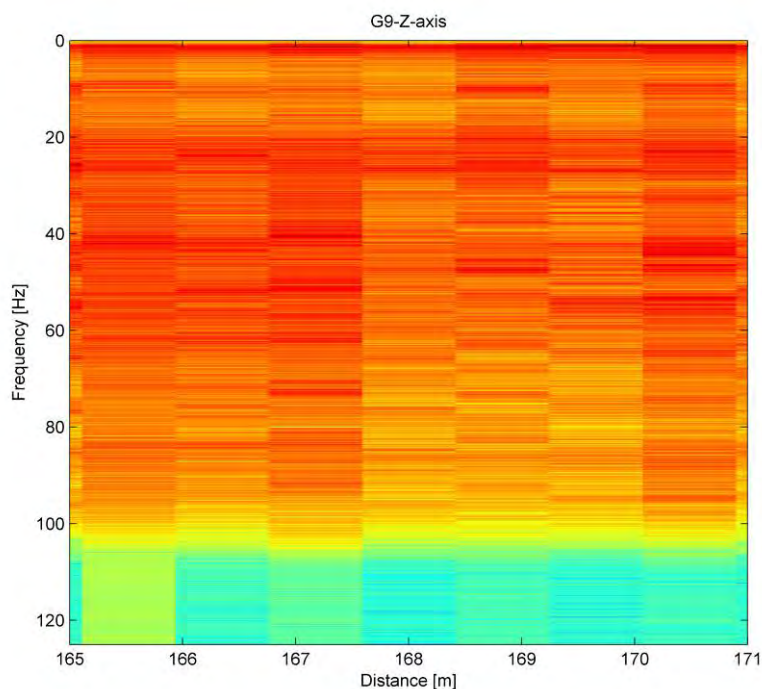
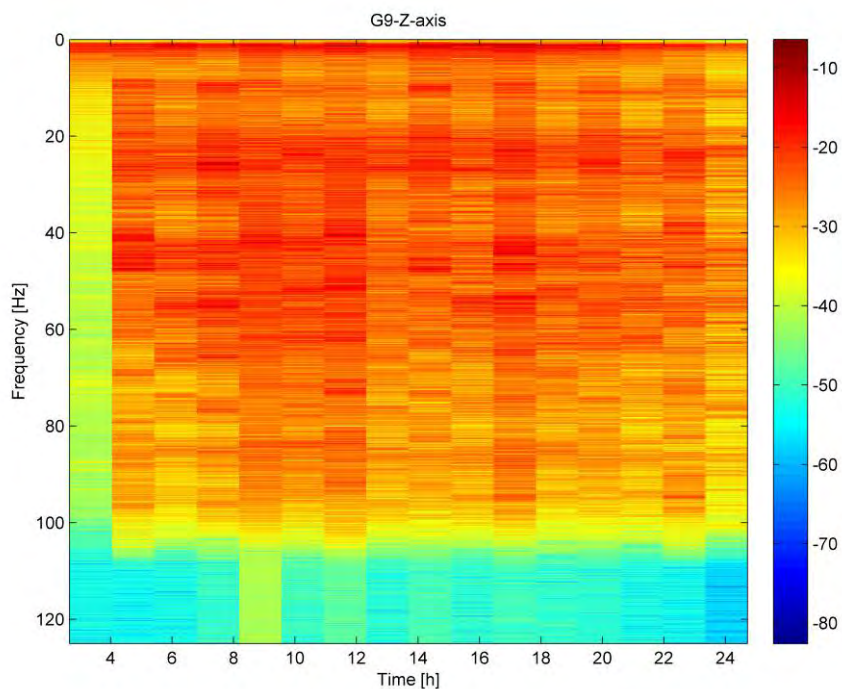


Figura 4.54. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G9.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 151 di 201	Rev. 0

4.7 Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del sensore G10

In questo paragrafo ci si propone di stimare l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e propagatasi nel terreno dell'area compresa fra i geofoni G10 e G11. Seguendo la procedura di stima definita nei paragrafi precedenti, occorre calcolare il livello RMS dei segnali acquisiti dai geofoni G10 e G11 quando la testa della TBM si trova nelle immediate vicinanze del geofono G10 (17-07-2010); in questo modo è possibile misurare direttamente, dai dati acquisiti da G10, l'energia della sorgente. Tuttavia, in questo caso, i due geofoni sono localizzati a pari distanza dal percorso effettuato dalla TBM e quindi l'energia della sorgente non è direttamente osservabile. E' necessario, quindi, applicare un procedimento alternativo, basato sulla stima dell'energia della sorgente dai dati acquisiti da G10 e G11 quando la testa della TBM è in posizione nota.

Consideriamo due misure E_{m1} ed E_{m2} del livello RMS delle vibrazioni misurate rispettivamente dai geofoni G10 e G11 quando la testa della TBM è nella posizione P, alle distanze d_1 e d_2 da G10 e G11. L'attenuazione del terreno compreso fra P e G10, espressa in dB/m, è data da:

$$A_1 = \frac{E_s - E_{m1}}{d_1}$$

dove E_s è l'energia della sorgente in P, espressa in dB.

L'attenuazione del terreno compreso fra P e G10, espressa in dB/m, è data da:

$$A_2 = \frac{E_s - E_{m2}}{d_2}$$

Assumiamo, poi, che l'attenuazione A_1 del terreno fra P e G10, e l'attenuazione A_2 fra P e G11, sia la stessa: $A_1 = A_2 = A$. Ciò si verifica se G10 e G11 sono sufficientemente vicini, come accade in pratica. Se tale ipotesi è verificata, una stima dell'energia della sorgente \hat{E}_s è data da:

$$\frac{\hat{E}_s - E_{m1}}{d_1} = \frac{\hat{E}_s - E_{m2}}{d_2}$$

$$\hat{E}_s = \frac{d_1 E_{m2} - d_2 E_{m1}}{d_1 - d_2}$$

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 152 di 201	Rev. 0

Una volta nota la stima dell'energia della sorgente, l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e propagatasi nel terreno dell'area compresa fra P e G10 e fra P e G11 è data da:

$$A = \frac{\hat{E}_S - E_{m1}}{d_1} \text{ o da } A = \frac{\hat{E}_S - E_{m2}}{d_2}.$$

In questo caso, i valori RMS delle vibrazioni misurate dai geofoni G10 e G11 durante la giornata del 17/07/2010 sono mostrati rispettivamente nelle figure da 4.55 a 4.57 e nelle figure da 4.58 a 4.60.

Le distanze fra P ed i geofoni G10 e G11 sono rispettivamente pari a:

$$d_1 = 44m;$$

$$d_2 = 48m.$$

Per l'asse longitudinale si ha:

$$E_{m1} = 20\text{Log}(0.007) = -43.1\text{dB};$$

$$E_{m2} = 20\text{Log}(0.004) = -48\text{dB};$$

$$\hat{E}_S = \frac{d_1 E_{m2} - d_2 E_{m1}}{d_1 - d_2} = 10.4\text{dB};$$

$$A = \frac{\hat{E}_S - E_{m1}}{d_1} = 1.2\text{dB} / m.$$

Si noti che la stima potrebbe essere soggetta ad un errore significativo, a causa dei valori estremamente piccoli delle energie E_{m1} e E_{m2} delle vibrazioni misurate e del valore altrettanto piccolo della distanza relativa $(d_1 - d_2)$.

Il procedimento non è applicabile alle componenti trasversali e verticali, a causa del notevole rumore di fondo presente nei segnali acquisiti dal geofono G11, molto probabilmente dovuto al vicino metanodotto in funzione.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 153 di 201	Rev. 0

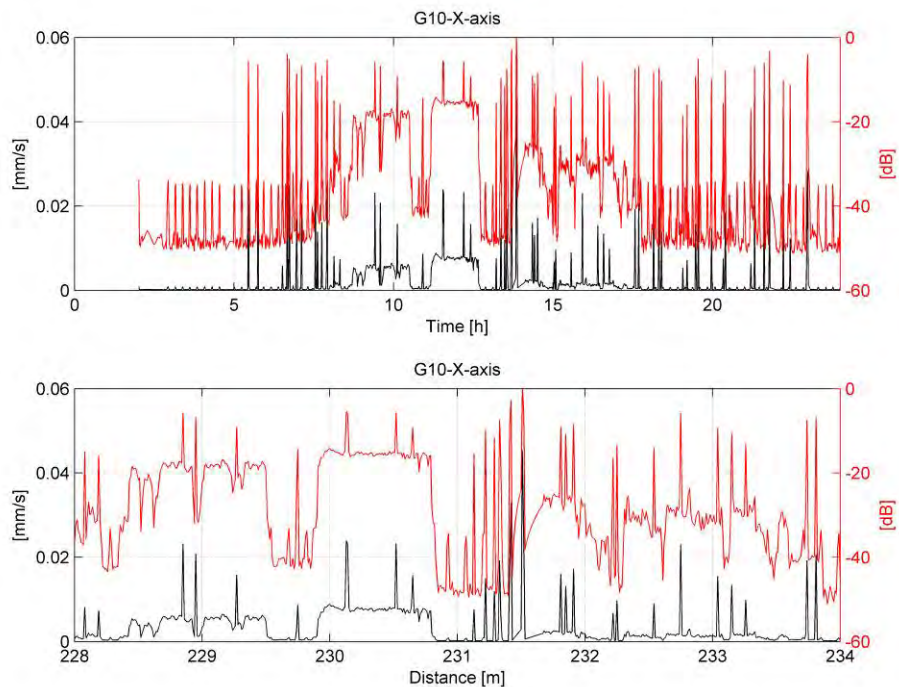


Figura 4.55. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G10.

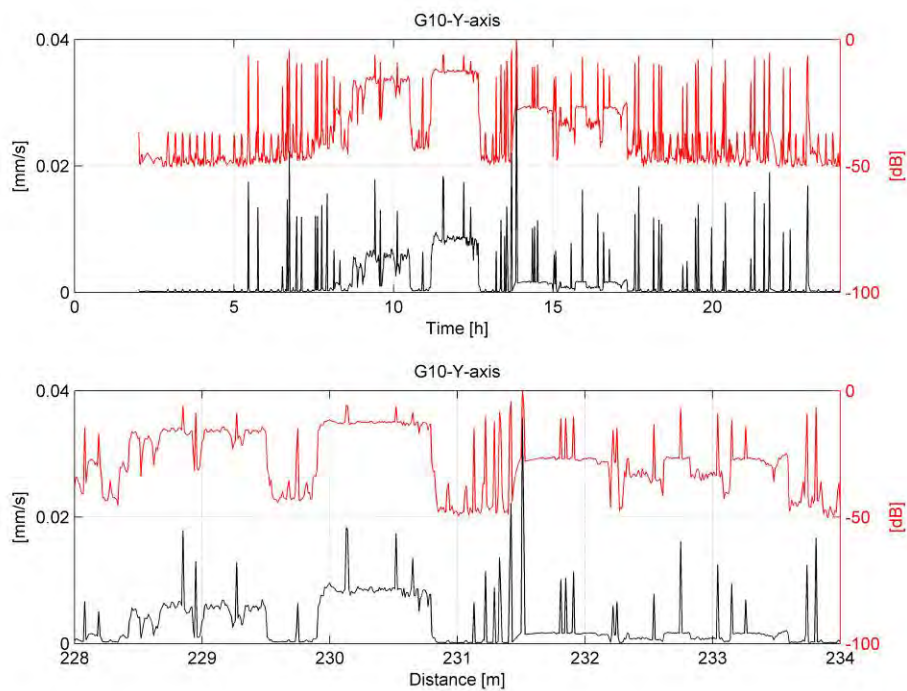


Figura 4.56. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G10.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 154 di 201	Rev. 0

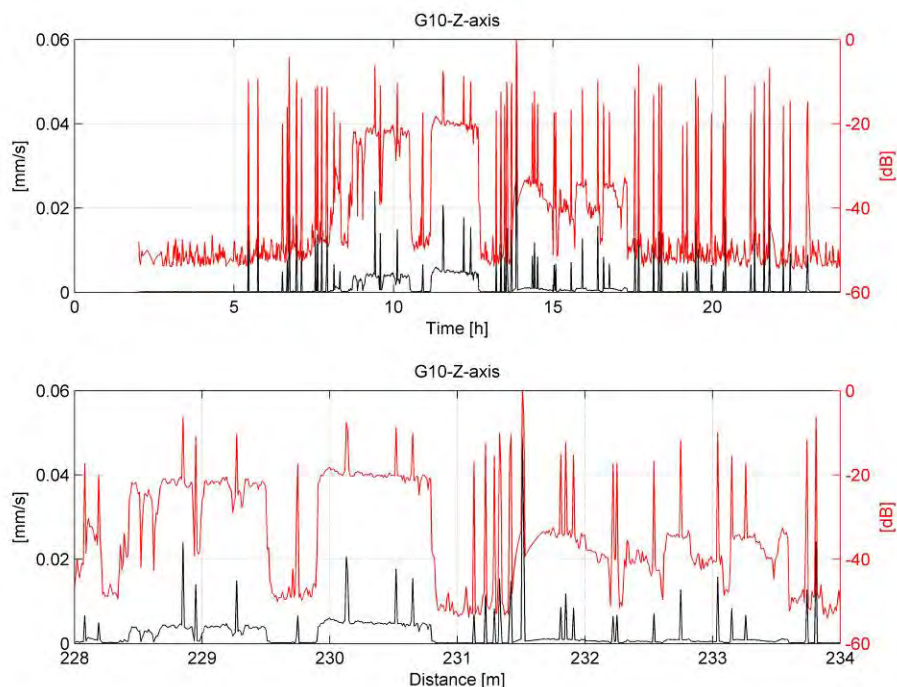


Figura 4.57. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G10.

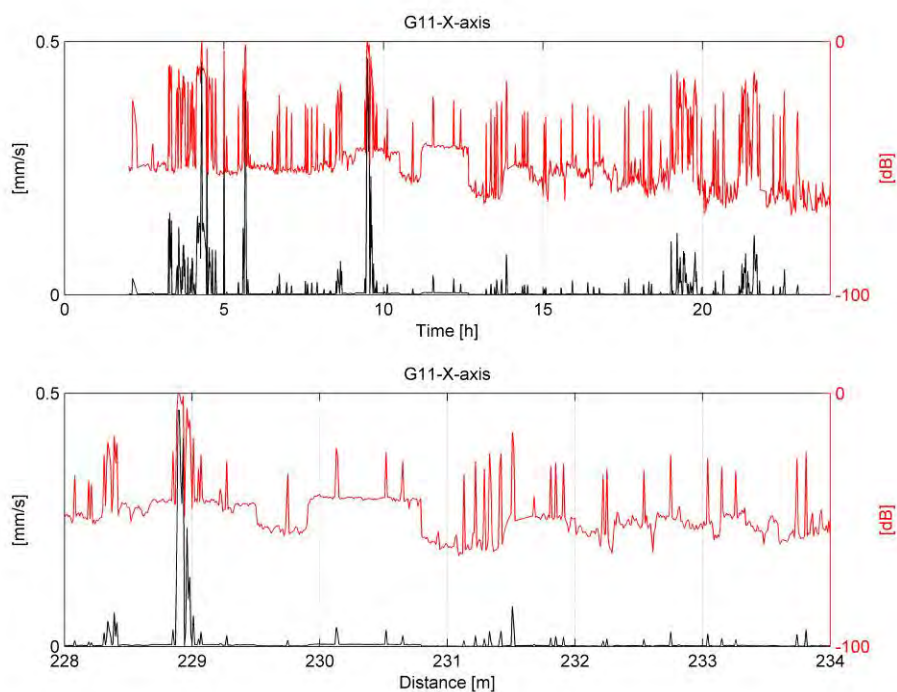


Figura 4.58. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G11.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 155 di 201	Rev. 0

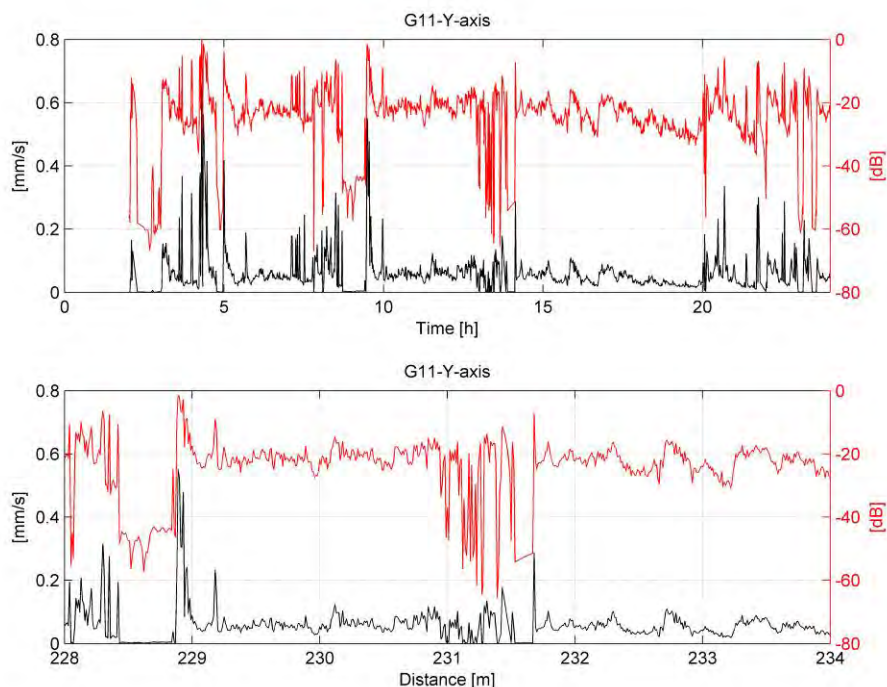


Figura 4.59. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G11.

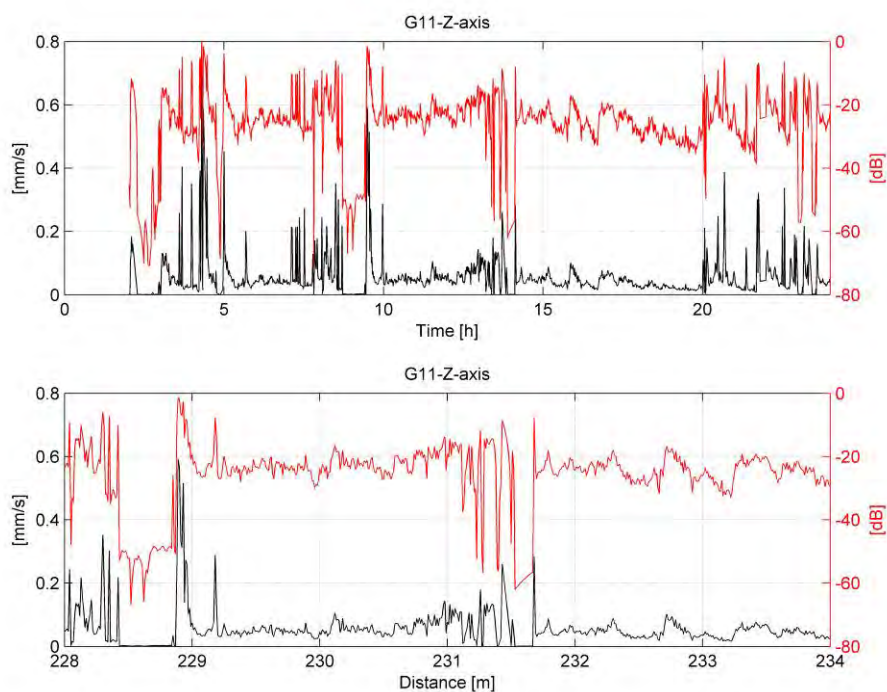


Figura 4.60. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G11.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 156 di 201	Rev. 0

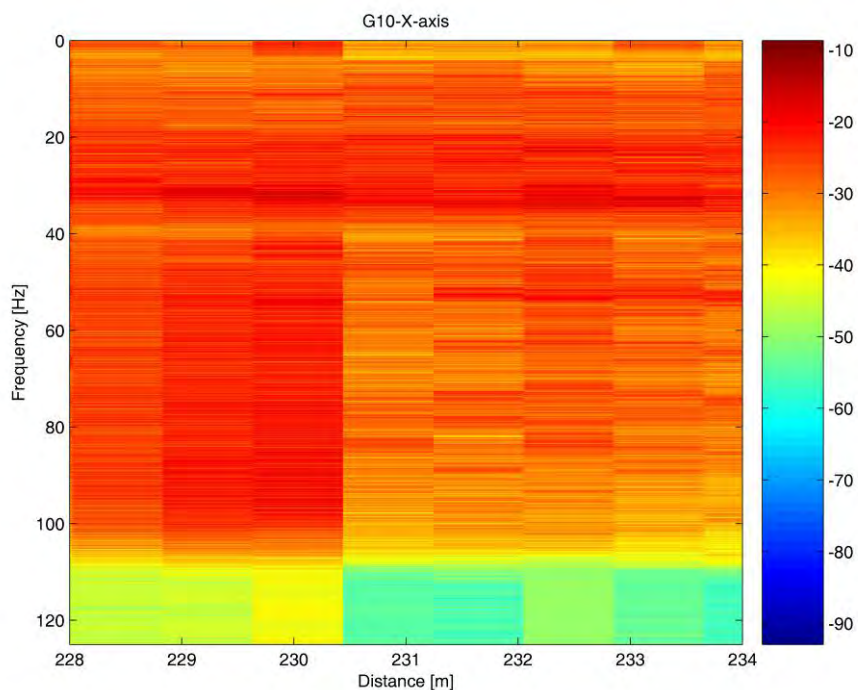


Figura 4.61. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G10.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 157 di 201	Rev. 0

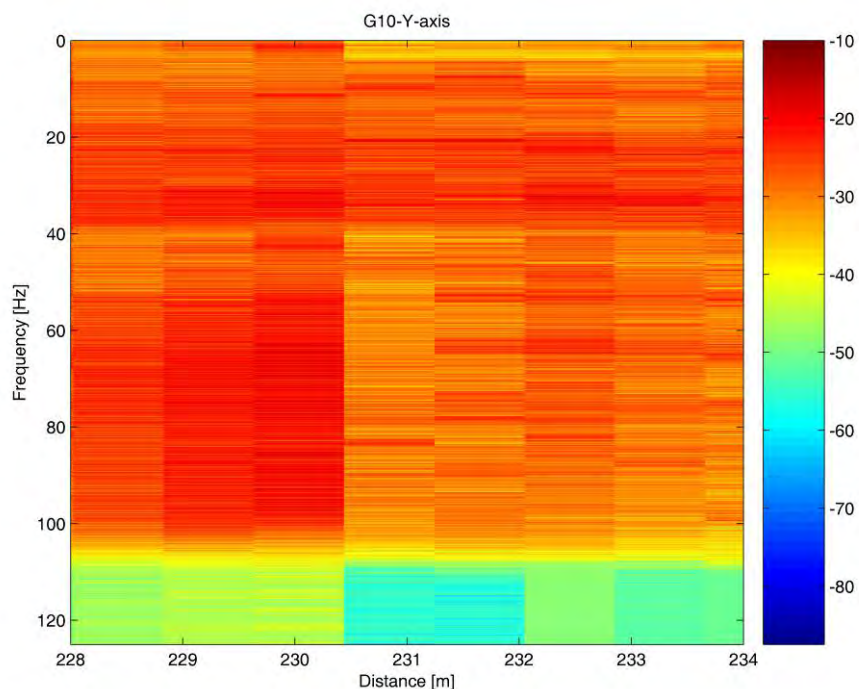
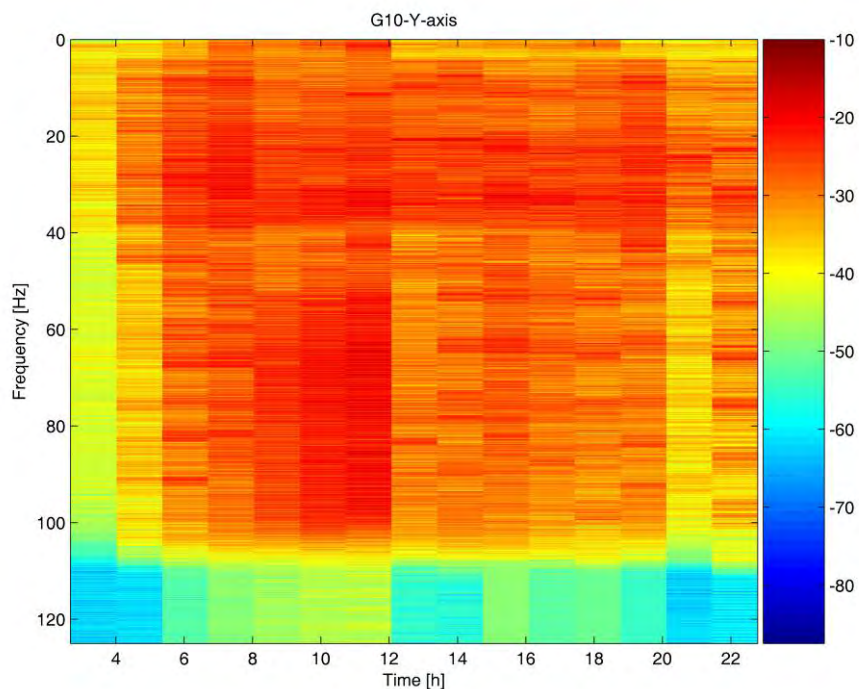


Figura 4.62. *Spetrogramma del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G10.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 158 di 201	Rev. 0

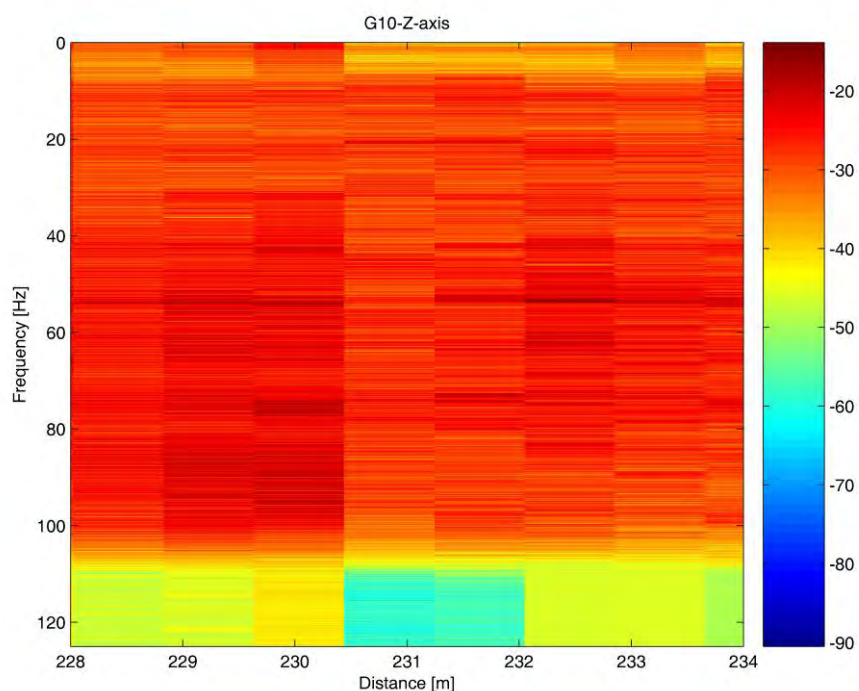
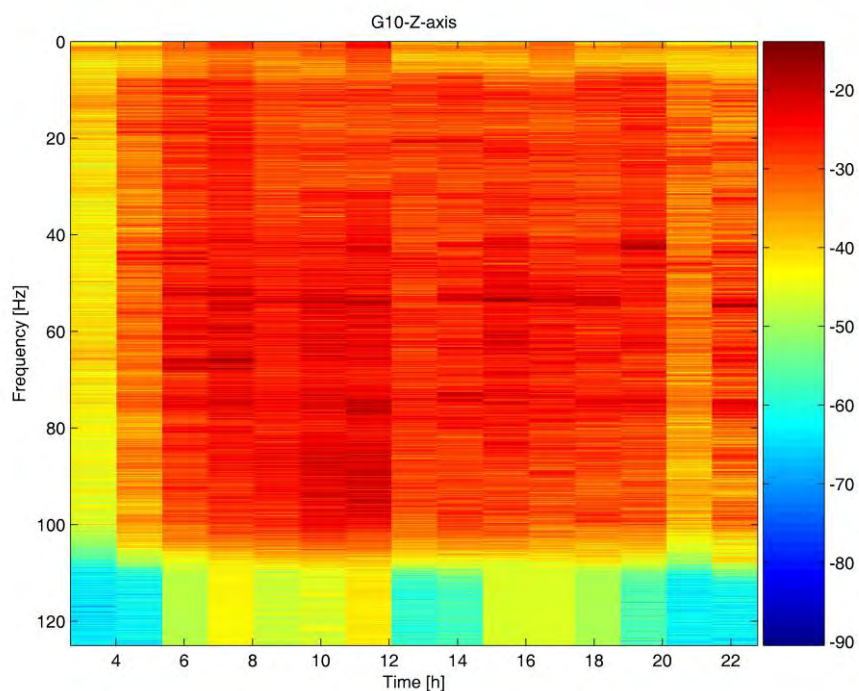


Figura 4.63. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G10.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 159 di 201	Rev. 0

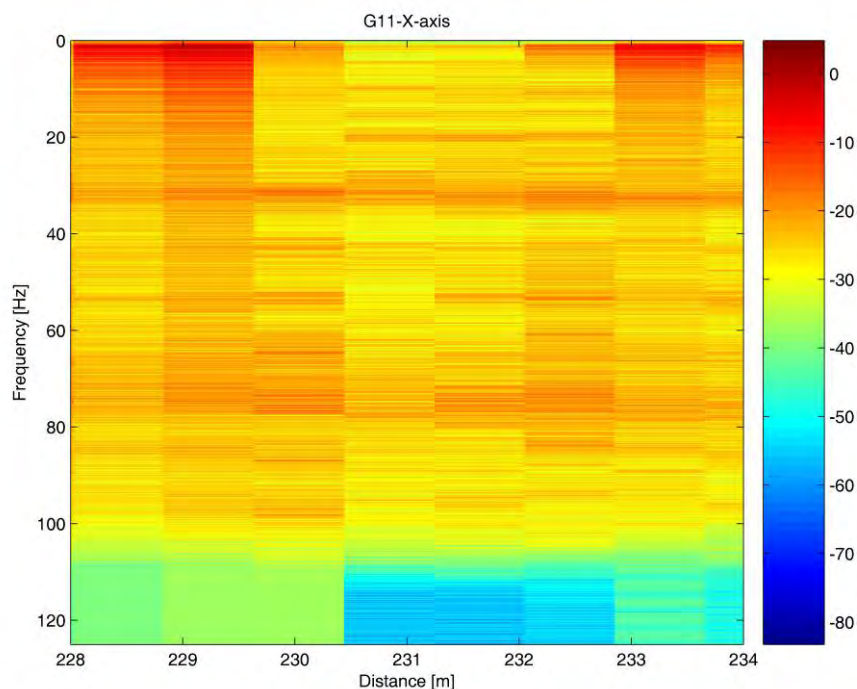
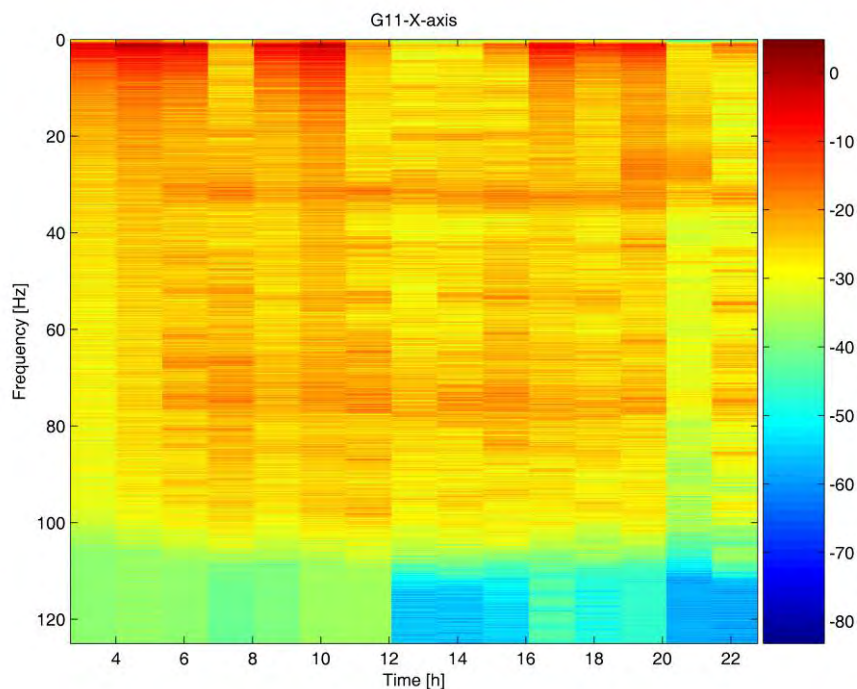


Figura 4.64. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G11.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 160 di 201	Rev. 0

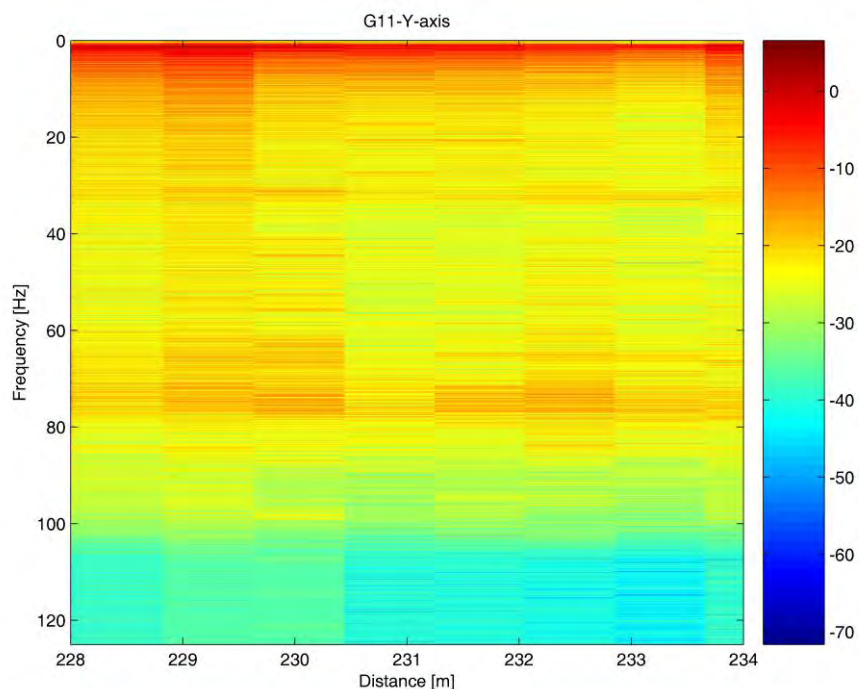
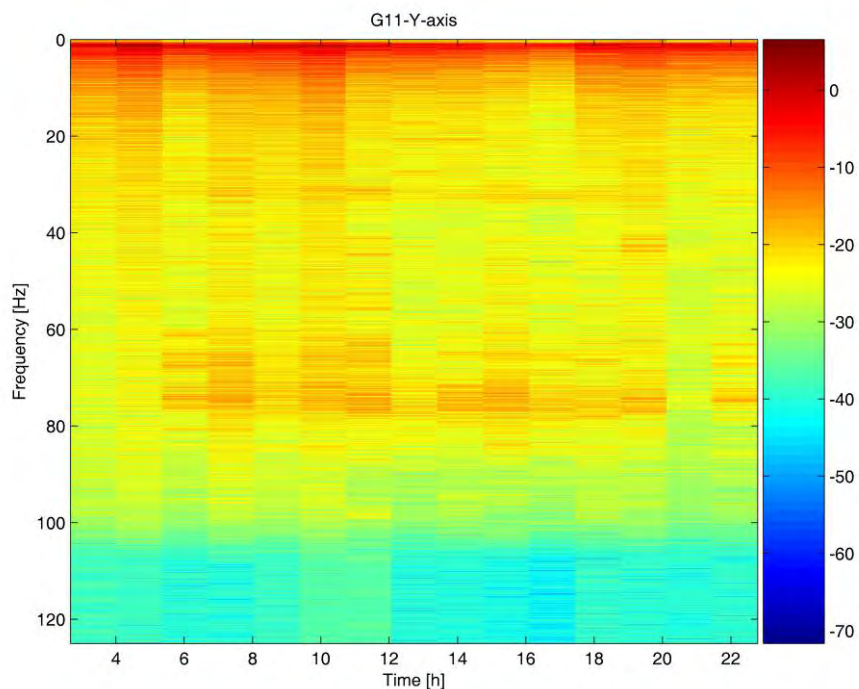


Figura 4.65. *Spetrogramma del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G11.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 161 di 201	Rev. 0

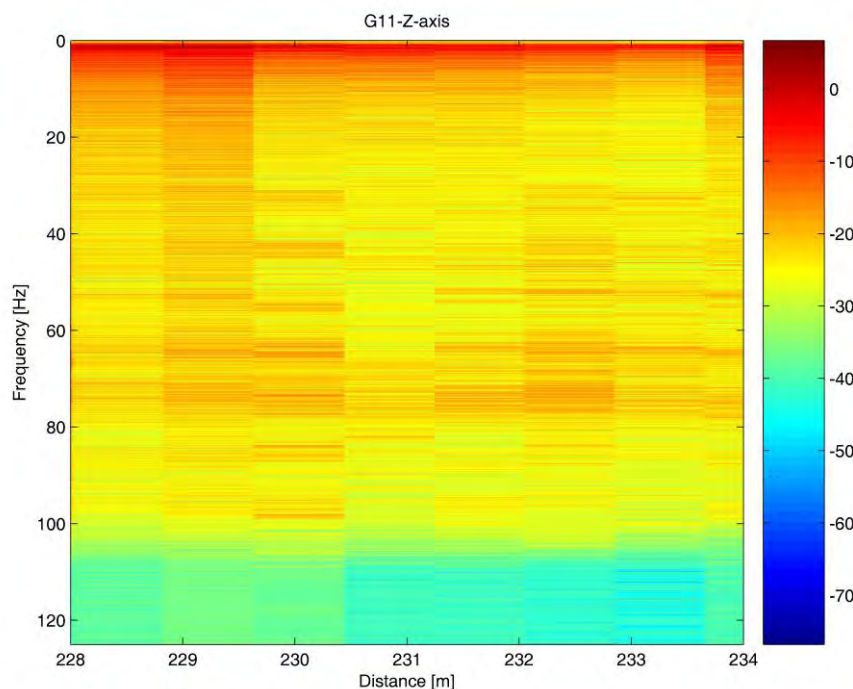
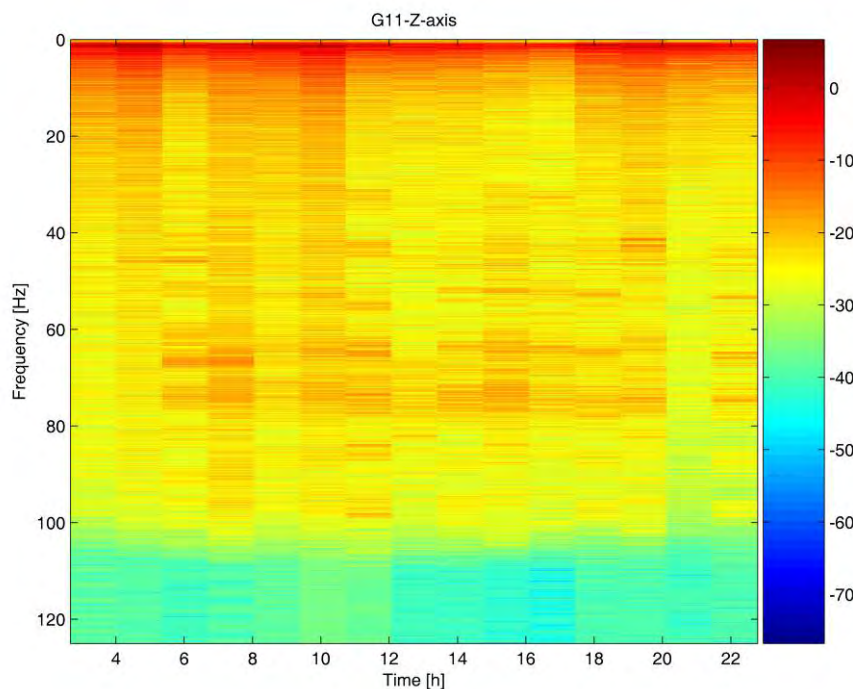


Figura 4.66. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G11.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 162 di 201	Rev. 0

4.8 Valutazione dell'attenuazione durante l'avanzamento delle TBM in prossimità del sensore G12

In questo paragrafo ci si propone di stimare l'attenuazione dell'onda elastica generata dalla testa della TBM e propagatasi nel terreno dell'area compresa fra i geofoni G12 e G13. Anche in questo caso, è necessario applicare il procedimento basato sulla stima della sorgente, descritto nel paragrafo precedente.

Si considerino i valori RMS delle vibrazioni misurate dai geofoni G12 e G13 durante la giornata del 22/07/2010 (da Fig 5.67 a Fig.5.72).

Le distanze fra P ed i geofoni G12 e G13 sono rispettivamente pari a:

$$d_1 = 65m;$$

$$d_2 = 68m.$$

Per l'asse longitudinale si ha:

$$E_{m1} = 20\text{Log}(0.0034) = -49.4\text{dB}$$

$$E_{m2} = 20\text{Log}(0.0024) = -52.4\text{dB}$$

$$\hat{E}_s = \frac{d_1 E_{m2} - d_2 E_{m1}}{d_1 - d_2} = 16.2\text{dB}$$

$$A = \frac{\hat{E}_s - E_{m1}}{d_1} = 1.01\text{dB} / m$$

Si noti che la stima potrebbe essere soggetta ad un errore significativo, a causa dei valori estremamente piccoli delle energie E_{m1} e E_{m2} delle vibrazioni misurate e del valore altrettanto piccolo della distanza relativa $(d_1 - d_2)$.

Il procedimento non è applicabile alle componenti trasversali e verticali, a causa del notevole rumore di fondo presente nei segnali acquisiti dal geofono G11, molto probabilmente dovuto al vicino metanodotto in esercizio.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 163 di 201	Rev. 0

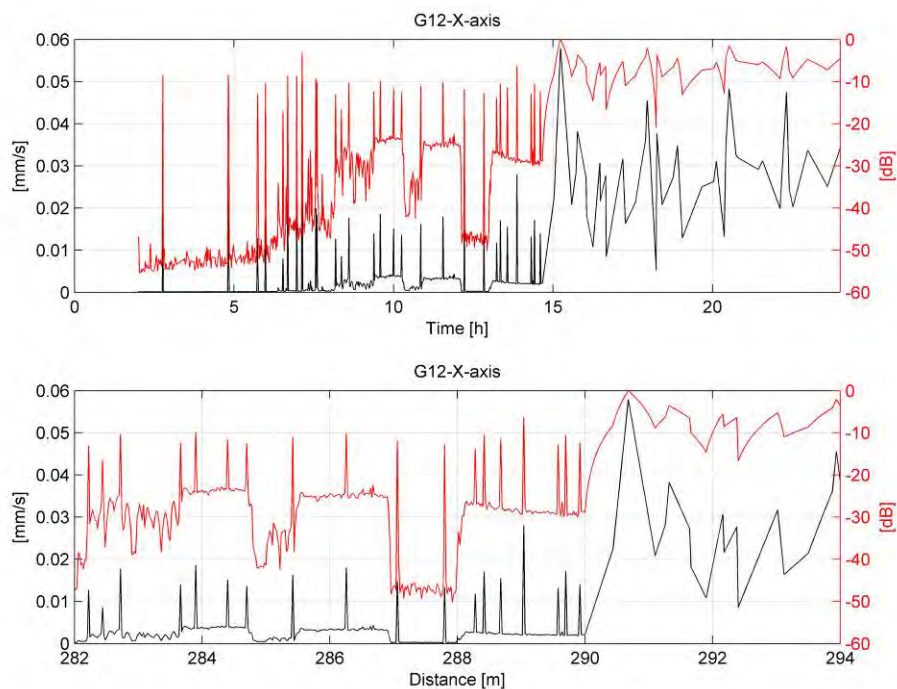


Figura 4.67. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G12.

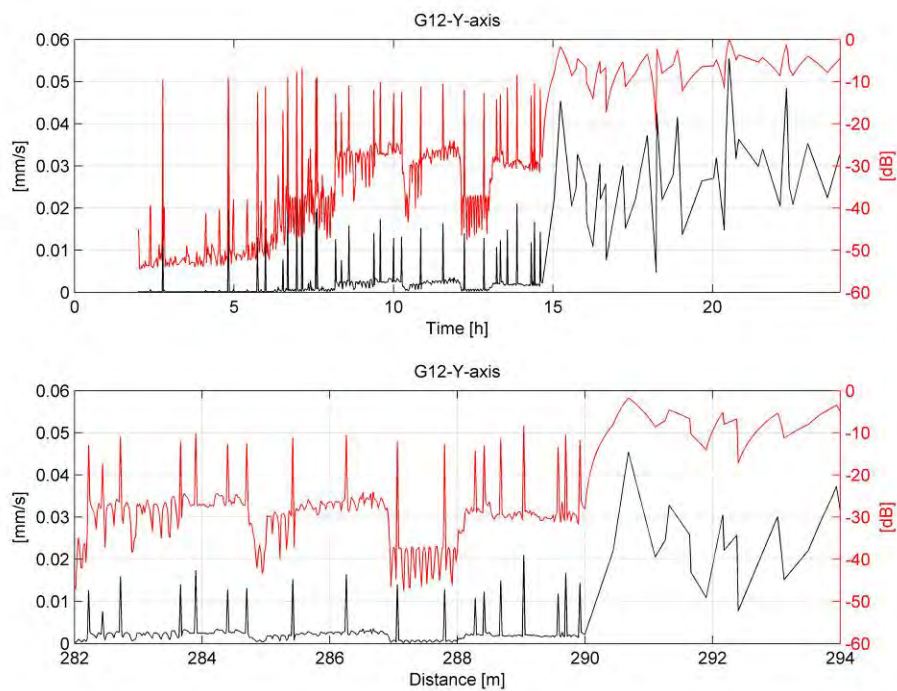


Figura 4.68. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G12.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 164 di 201	Rev. 0

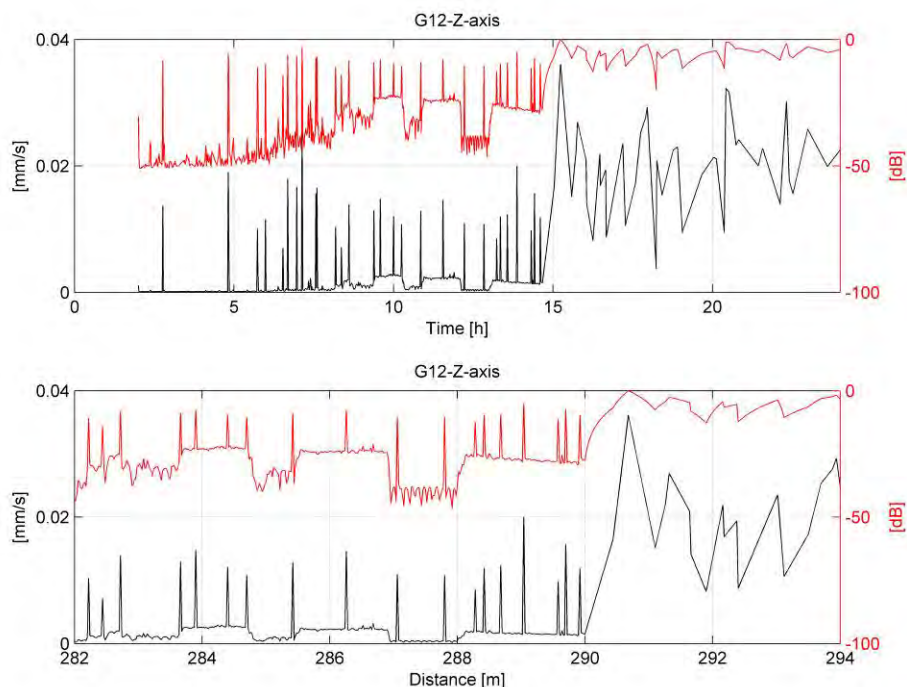


Figura 4.69. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G12.

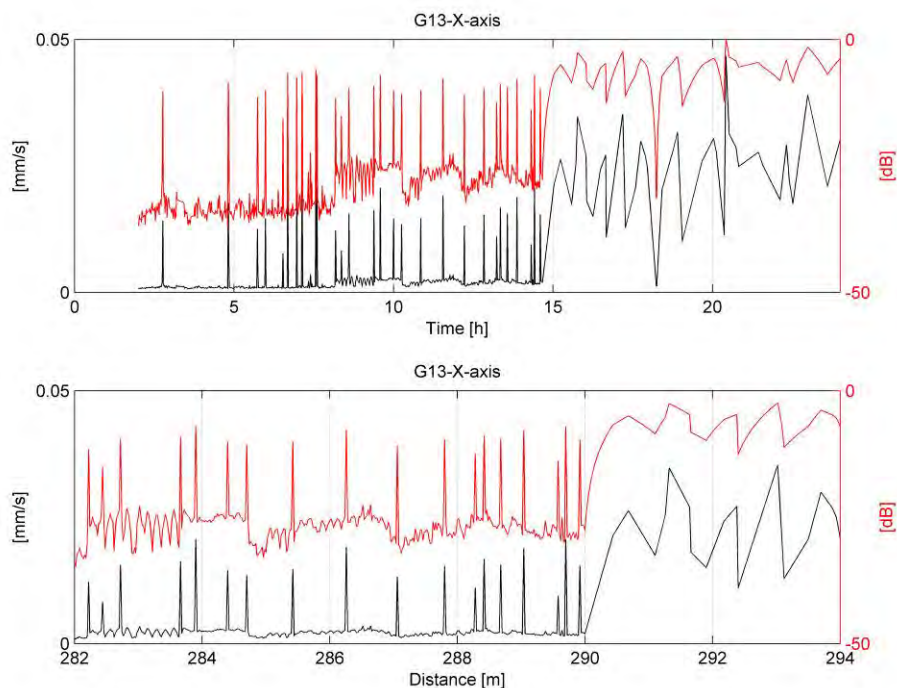


Figura 4.70. Valori RMS misurati dalla componente longitudinale del geofono G13.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 165 di 201	Rev. 0

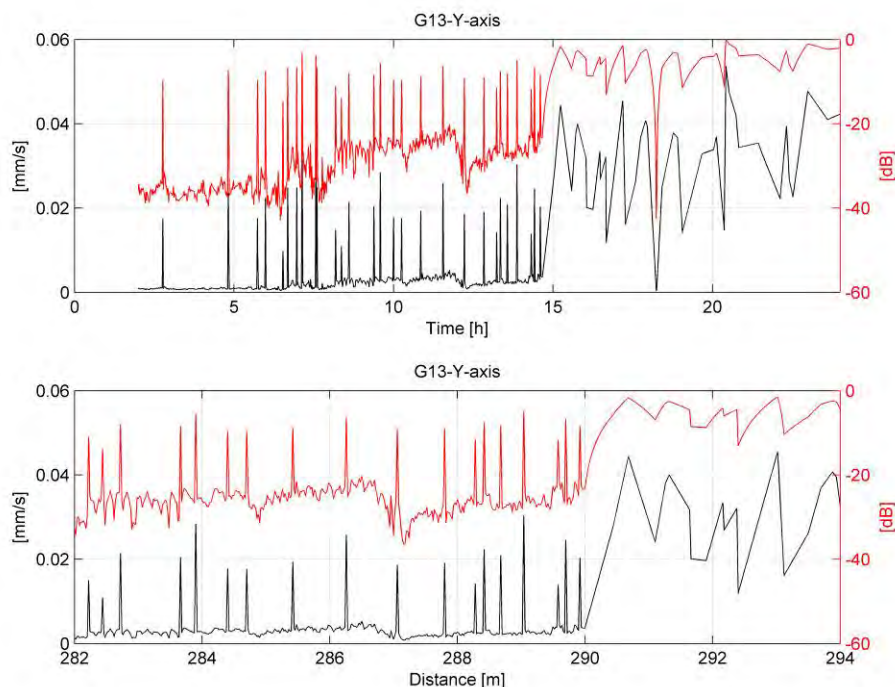


Figura 4.71. Valori RMS misurati dalla componente trasversale del geofono G13.

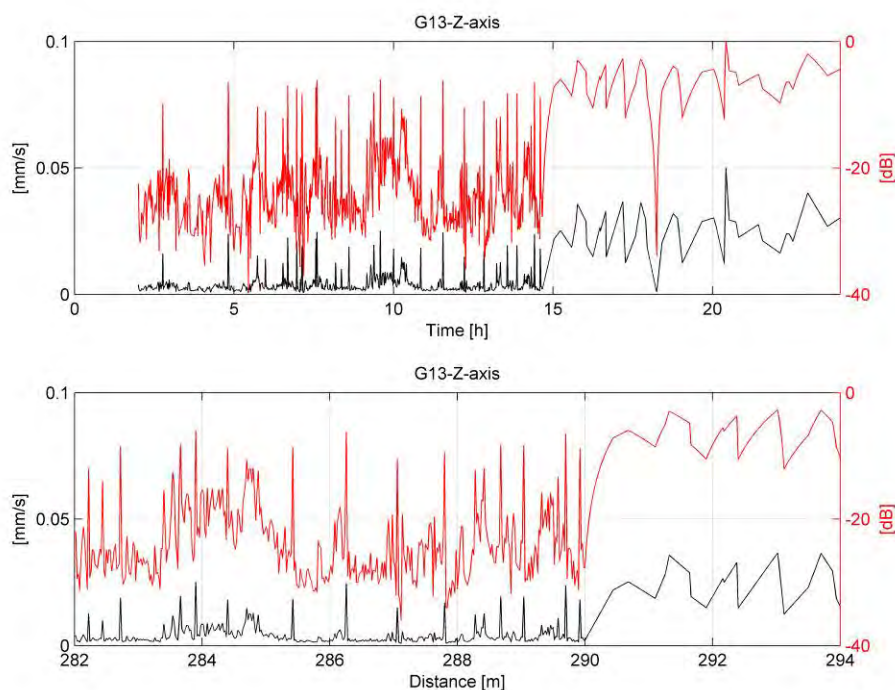


Figura 4.72. Valori RMS misurati dalla componente verticale del geofono G13.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 166 di 201	Rev. 0

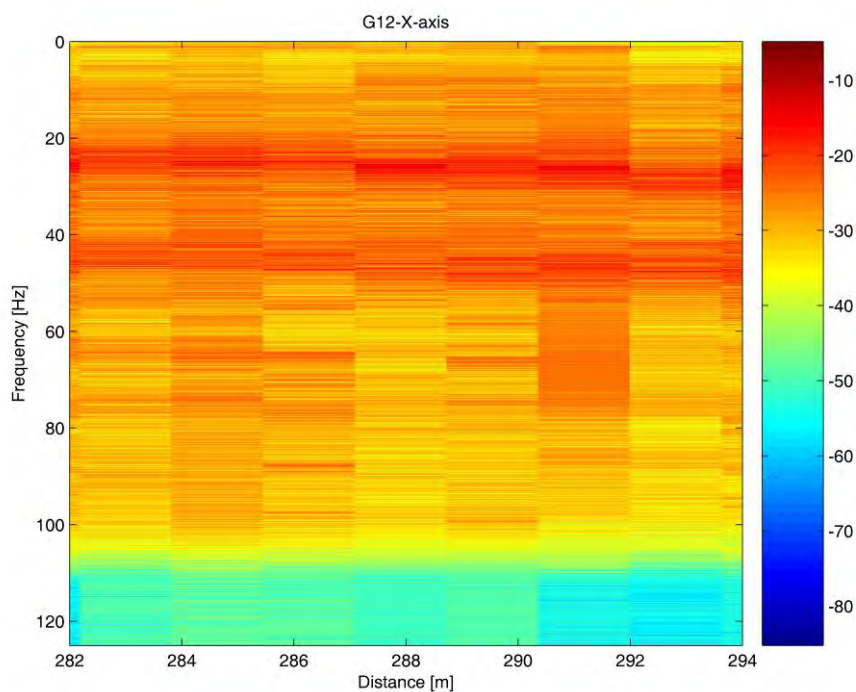
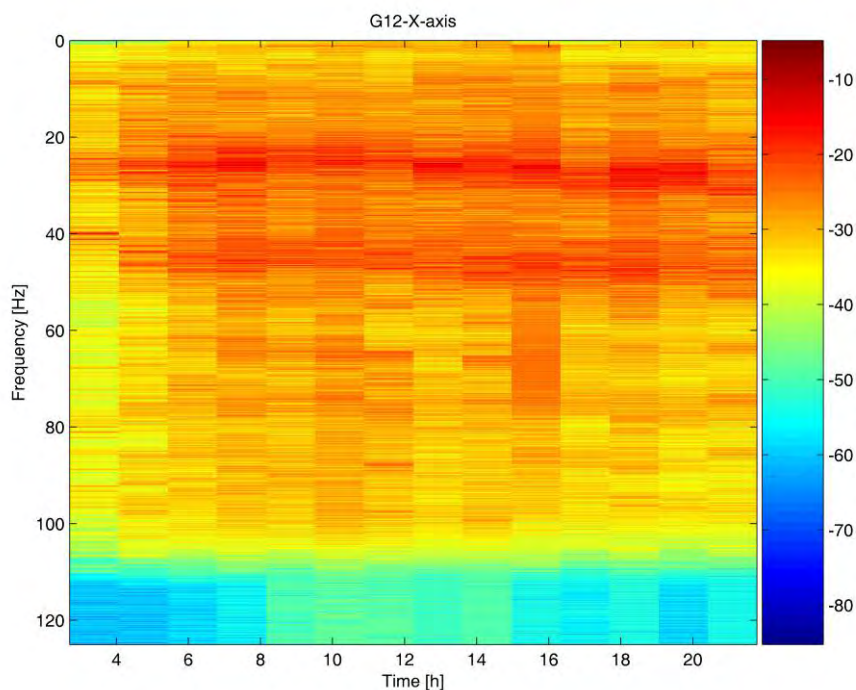


Figura 4.73. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G12.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 167 di 201	Rev. 0

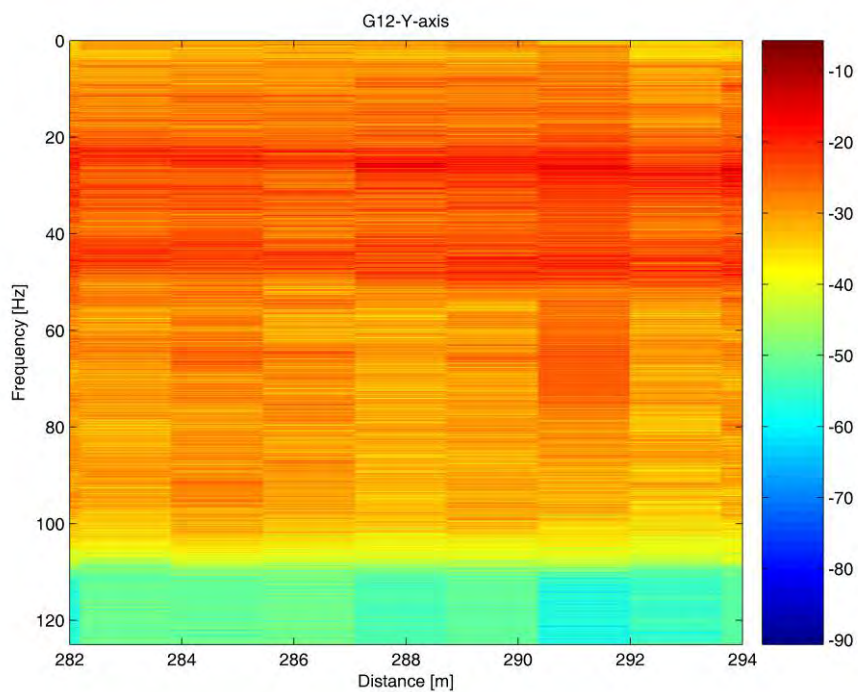
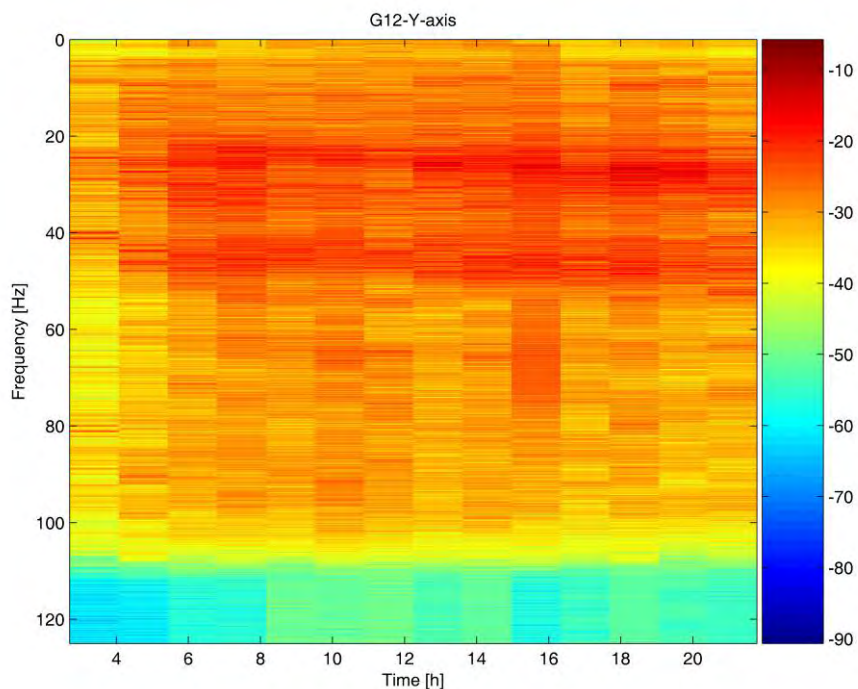


Figura 4.74. *Spetrogramma del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G12.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 168 di 201	Rev. 0

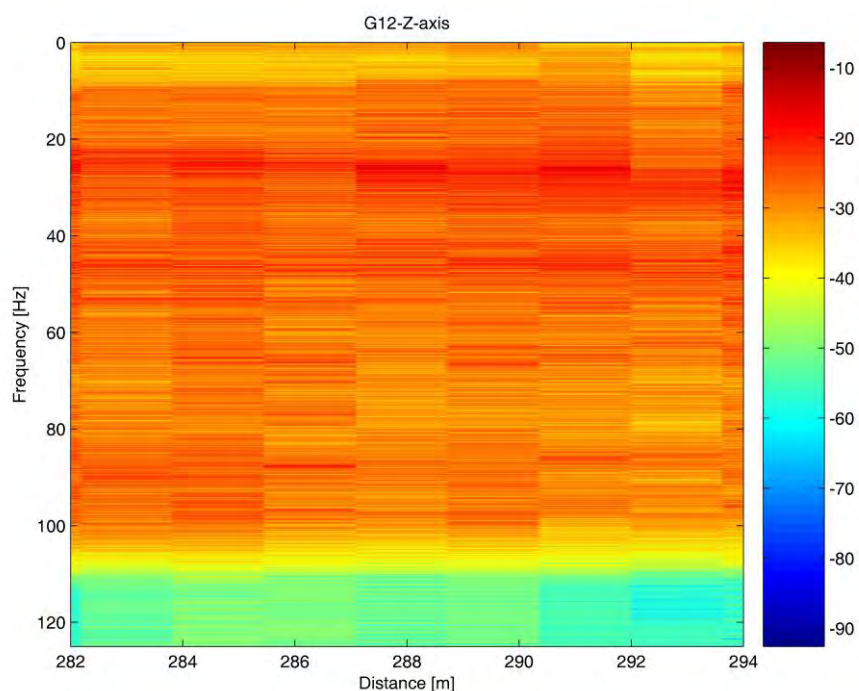
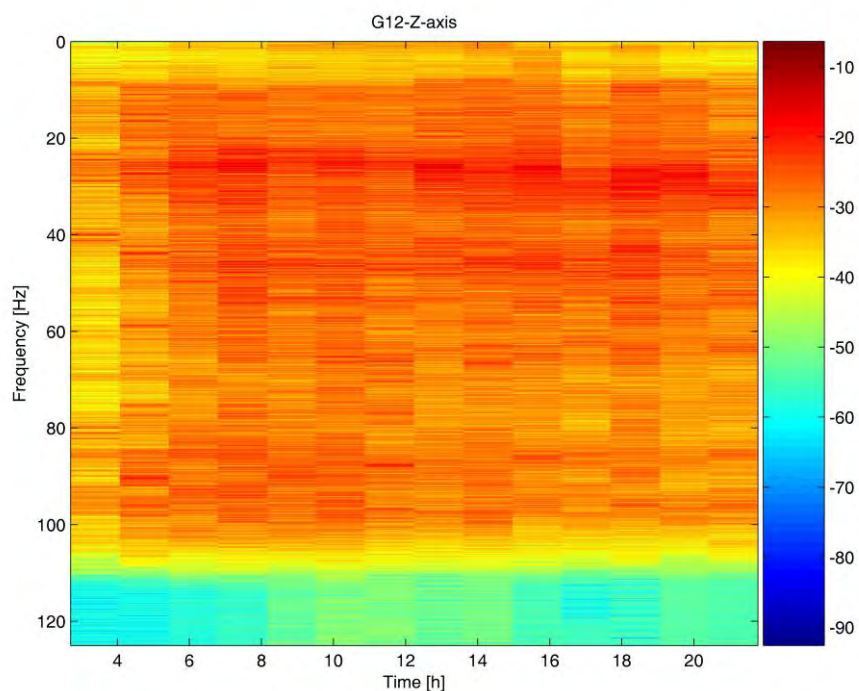


Figura 4.75. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G12.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 169 di 201	Rev. 0

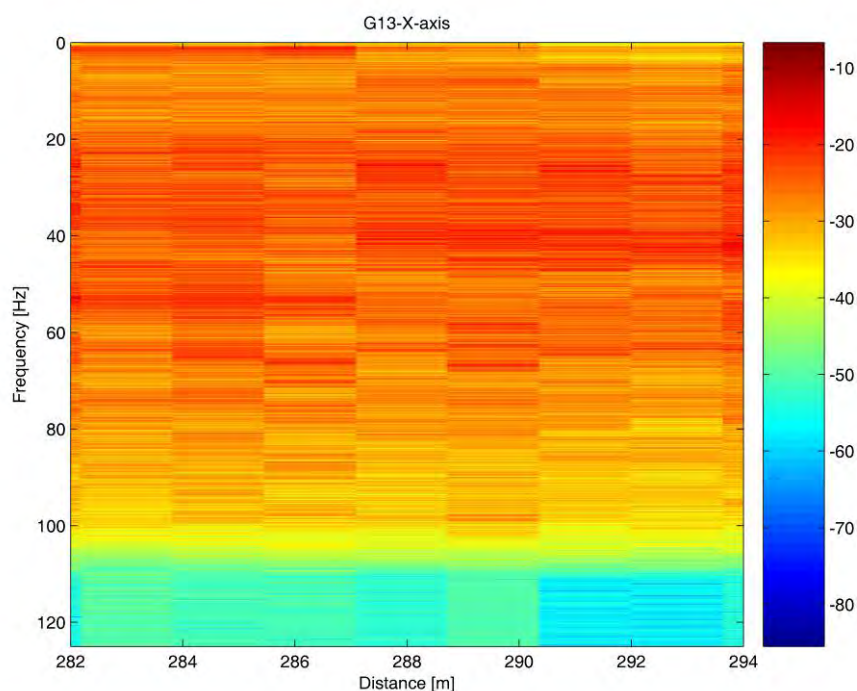
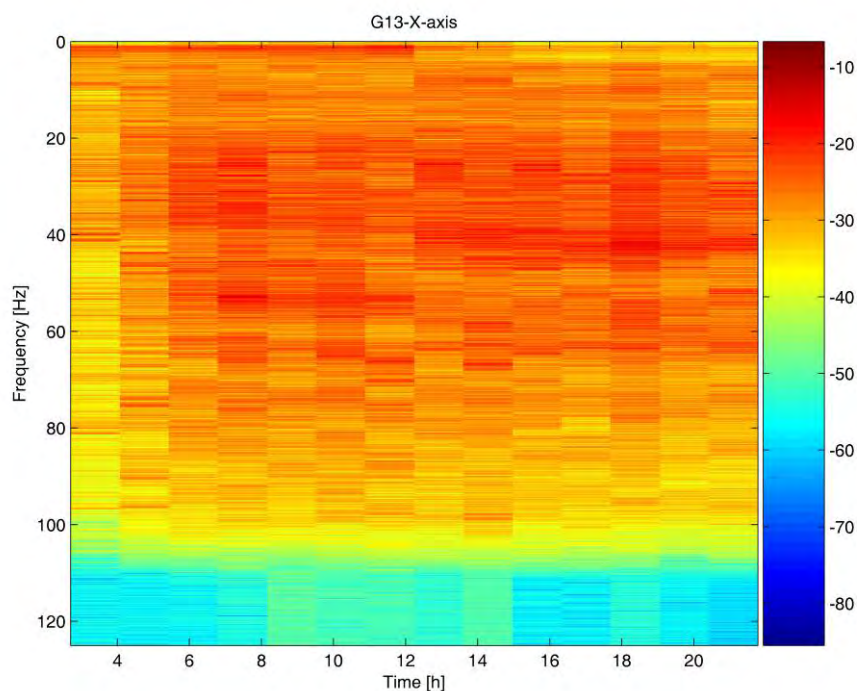


Figura 4.76. *Spettrogramma del segnale misurato dalla componente longitudinale del geofono G13.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 170 di 201	Rev. 0

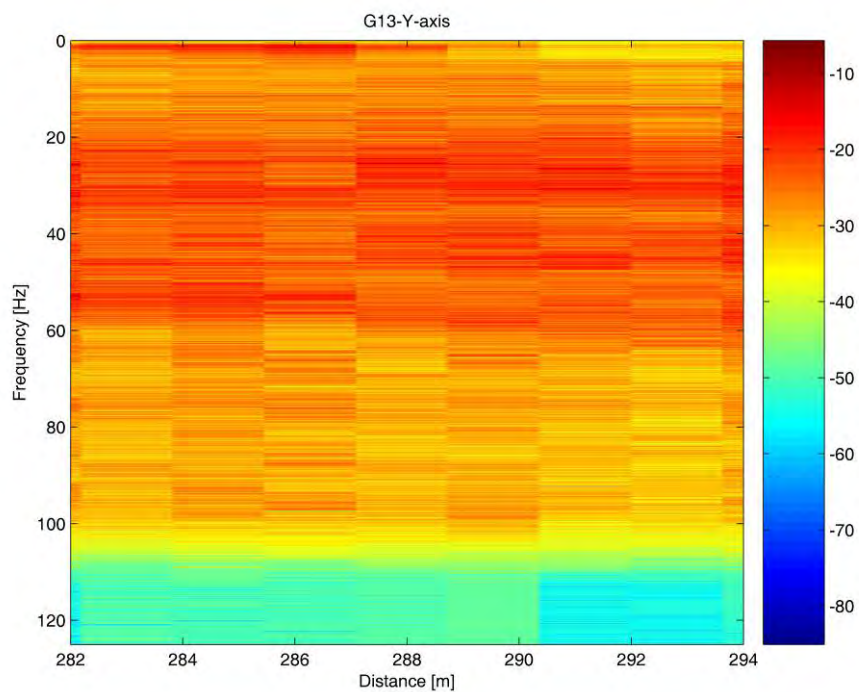
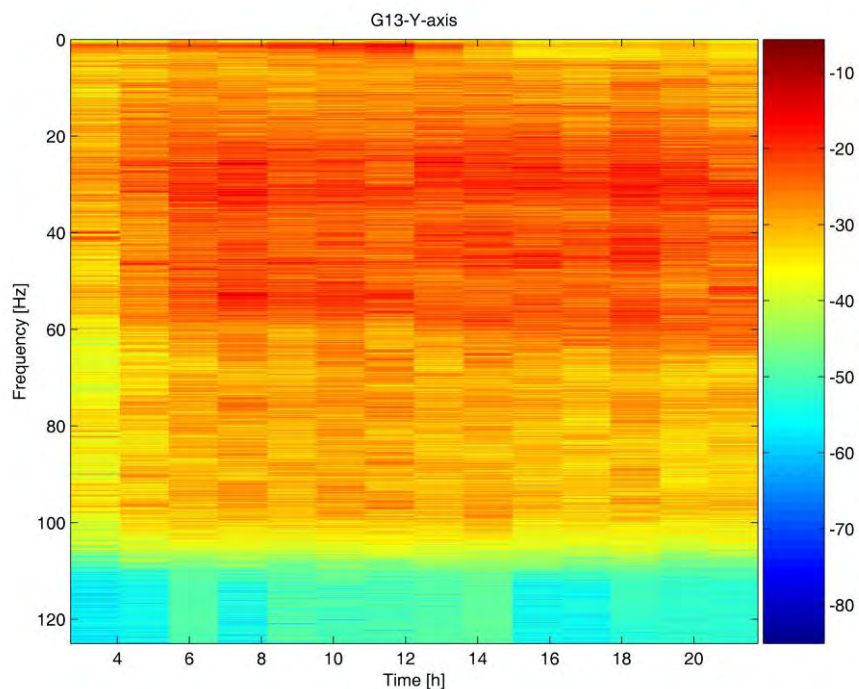


Figura 4.77. *Spetrogramma del segnale misurato dalla componente trasversale del geofono G13.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 171 di 201	Rev. 0

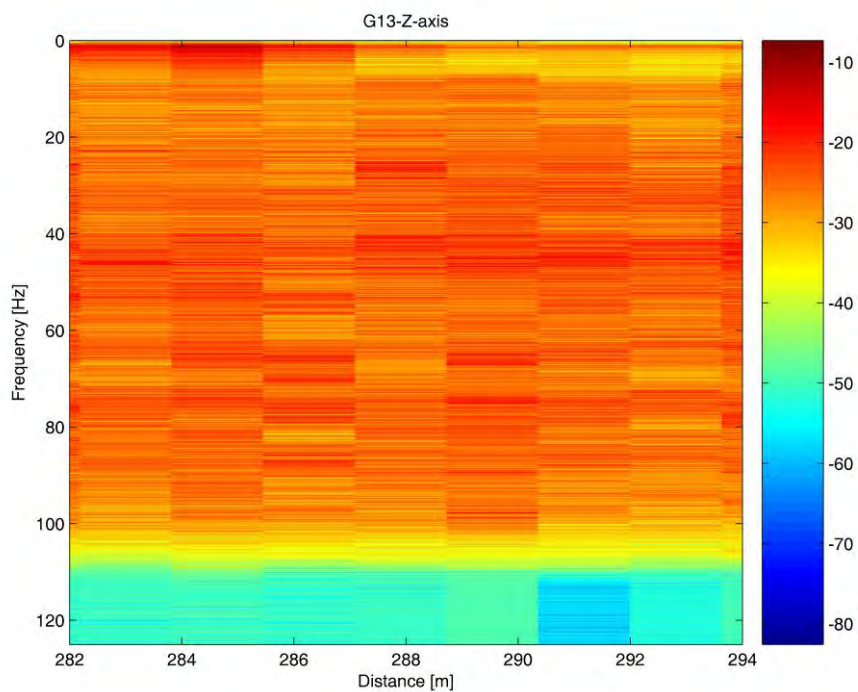
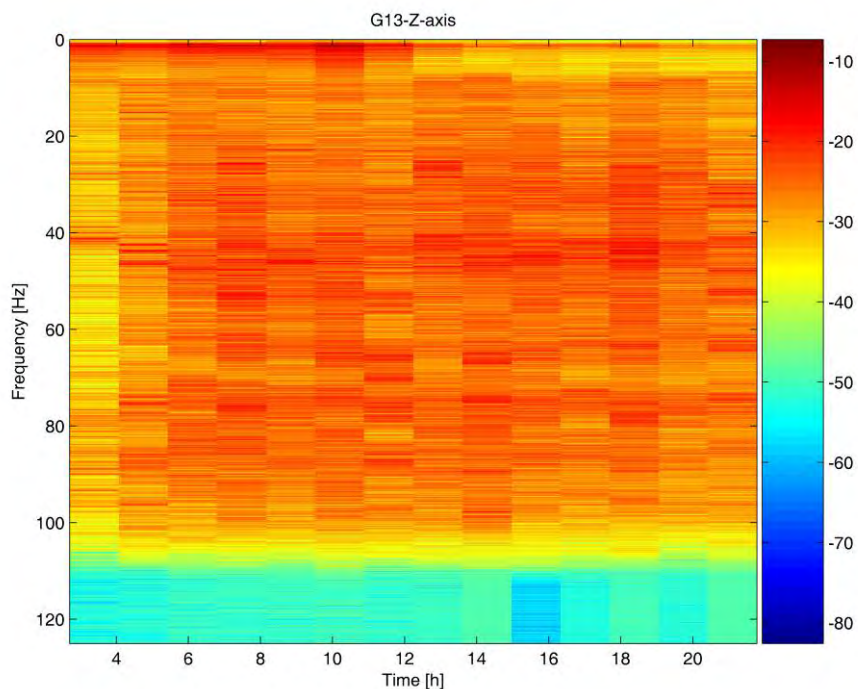


Figura 4.78. *Spetrogramma del segnale misurato dalla componente verticale del geofono G13.*

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 172 di 201	Rev. 0

4.9 Conclusioni

Dall'analisi qui effettuata emerge che è possibile stimare i coefficienti di attenuazione tipici del sito considerato, al fine di valutare gli effetti vibrazionali della TBM in avanzamento, in un punto a distanza nota dalla stessa.

Nel sito "Vipacco" la stima del decadimento dell'onda vibrazionale propagatasi nell'area compresa:

- fra i geofoni G2 e G3 è pari a 0.7dB/m per l'asse longitudinale, a 0.6dB/m per l'asse trasversale ed a 0.7dB/m per l'asse verticale;
- fra i geofoni G4 e G5 è pari a 0.7dB/m per l'asse longitudinale, trasversale e verticale;
- fra i geofoni G6 e G7 non è possibile a causa dell'indeterminazione della posizione della testa della TBM in tale zona;
- fra i geofoni G8 e G9 non è possibile a causa dell'indeterminazione della posizione della testa della TBM in tale zona;
- fra i geofoni G10 e G11 è pari a 1.1dB/m per l'asse longitudinale;
- fra i geofoni G12 e G13 è pari a 1.2dB/m per l'asse longitudinale;

NOTA: per le coppie di geofoni G10-G11 e G12-G13 tale stima potrebbe essere soggetta ad un errore significativo, a causa dei valori estremamente piccoli delle energie delle vibrazioni misurate e del valore altrettanto piccolo della distanza relativa fra i geofoni e la testa della TBM. Il procedimento non è applicabile alle componenti trasversali e verticali, a causa del notevole rumore di fondo presente nei segnali acquisiti rispettivamente dai geofoni G11 e G13, molto probabilmente dovuto al vicino metanodotto in funzione.

La stima del decadimento lungo i conci di calcestruzzo è pari a circa 0.3 dB/m per l'asse longitudinale e per l'asse trasversale ed a circa 0.2 dB/m per l'asse verticale; si noti che tale stima potrebbe essere affetta da imprecisione a causa della non perfetta ripetibilità delle onde elastiche indotte dalla TBM, che risulta significativa sulla breve distanza (circa 15 m) in cui viene calcolato il decadimento d'ampiezza.

In conclusione l'ampiezza delle vibrazioni indotte dalla TBM si dimezza circa ogni 20 m lungo i conci di calcestruzzo del metanodotto ed ogni 10 m nell'area circostante.

Lo smorzamento si manifesta lungo le tre direzioni x, y e z in modo praticamente omogeneo.

Tale risultato è stato ricavato considerando le attenuazioni stimate durante la prima parte di avanzamento della TBM (fino alla coppia di sensori G4 e G5). La stima effettuata in seguito potrebbe essere affetta da un errore significativo a causa dei valori estremamente piccoli delle energie delle vibrazioni misurate, del valore piccolo della distanza relativa fra le coppie di geofoni impiegate e dell'elevato rumore di fondo, molto probabilmente dovuto al vicino metanodotto in funzione.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 173 di 201	Rev. 0

PARTE TERZA

MONITORAGGIO FONOMETRICO



 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 174 di 201	Rev. 0

5 MONITORAGGIO FONOMETRICO

5.1 Introduzione

5.1.1 Premessa e scopi del rilievo fonometrico

Durante le fasi del monitoraggio vibrazionale presso i cantieri di Villesse e Vipacco sono state effettuate registrazioni della pressione sonora attraverso l'impiego di un fonometro integratore Mod. HD2010, scelto per l'elevata precisione e per la possibilità di effettuare analisi sia spettrali sia statistiche.

Lo scopo dell'indagine era di verificare empiricamente impatto sonoro direttamente correlabile alle fasi di perforazione di un microtunnel ad opera di una macchina TBM. Partendo da questi presupposti si è deciso di settare lo strumento in maniera tale da simulare la risposta dell'orecchio umano in una situazione di campo aperto, in entrambi i casi a breve distanza dall'imbocco della perforazione in prossimità della postazione di spinta.



Figura 5.1: Postazioni fonometriche presso il cantiere di Villesse (a sinistra) e di Vipacco (a destra)

5.2 Descrizione del monitoraggio eseguito

5.2.1 Descrizione delle modalità operative

Per il monitoraggio del livello sonoro si è scelta una postazione di registrazione fissa all'interno delle due aree in questione, al fine di un migliore confronto tra i dati acquisiti. Tale scelta ha mediato ovviamente esigenze di tipo tecnico e logistiche, volendo limitare ogni possibile intralcio alle quotidiane operazioni di cantiere ma garantendo allo stesso tempo una buona rappresentatività dei dati raccolti.

 snam rete gas	PROGETTISTA  saipem	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 175 di 201	Rev. 0

5.2.2 Ubicazione dei punti di acquisizione

Nelle due immagini si possono apprezzare la posizione de fonometro (cerchio verde) per quanto riguarda i cantieri di Villesse (Fig. 5.2) e Vipacco (Fig. 5.3) in alcuni giorni del monitoraggio.

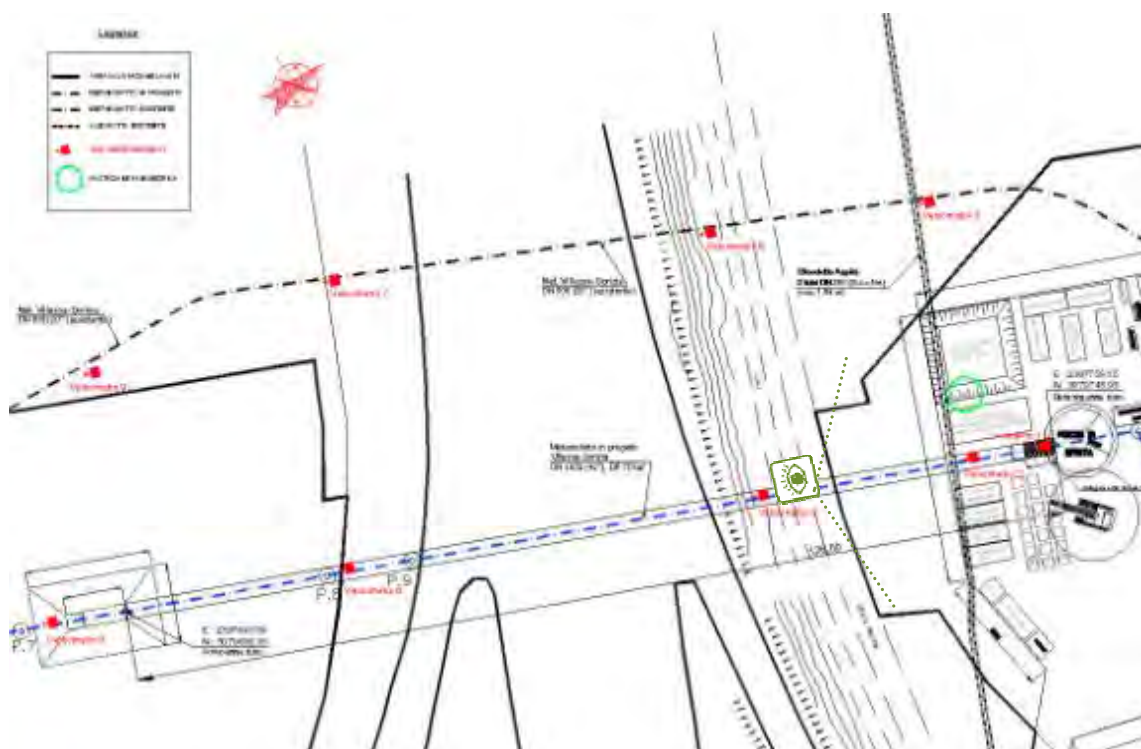


Figura 5.2 Planimetria dell'ubicazione della postazione fonometrica, cerchio verde, presso il cantiere di Villesse (sopra) e panoramica del cantiere di Villesse (sotto) con il dettaglio della postazione di registrazione.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 176 di 201	Rev. 0

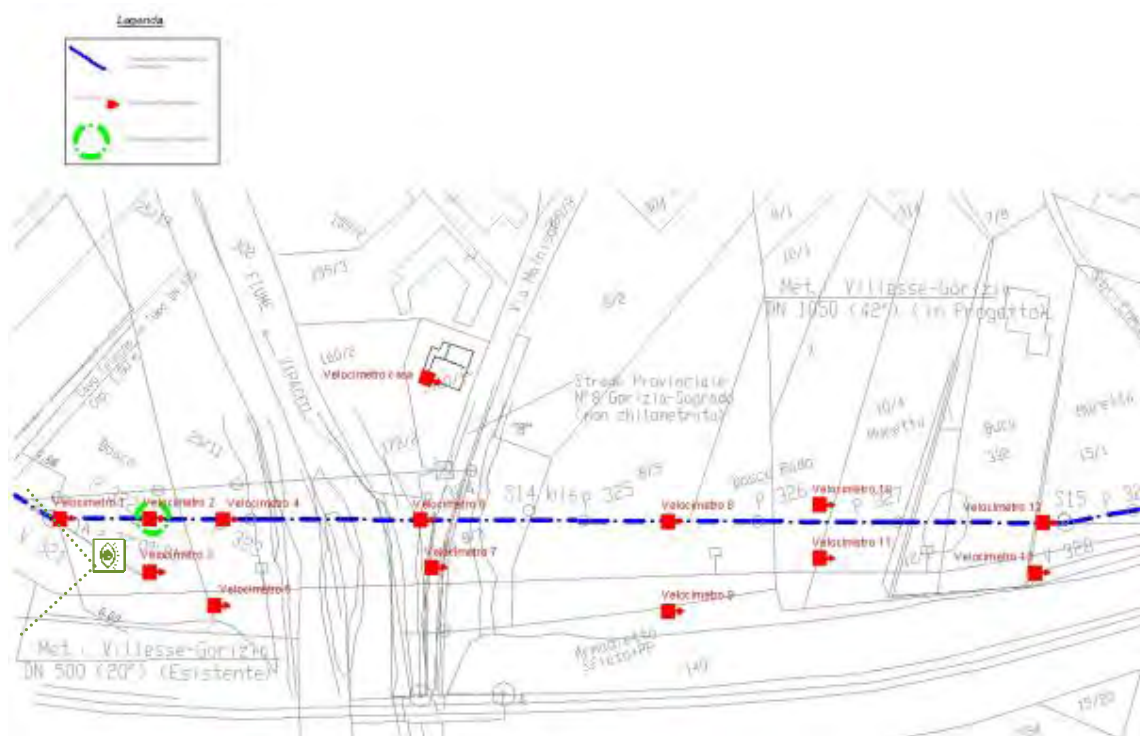


Figura 5.3.: Planimetria dell'ubicazione della postazione fonometrica presso il cantiere di Vipacco(sopra) e panoramica del cantiere di Vipacco (sotto) con il dettaglio della postazione di registrazione.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 177 di 201	Rev. 0

5.2.3 Strumentazione impiegata

Il modello HD2010 è unapparecchio fonometrico per rilievi nei luoghi di lavoro (DL81/08, exDL195/06 exDL277, Direttiva Macchine, Direttiva Cantieri), inquinamento acustico Legge 447/95, per misure di emissione sonora di macchine e impianti D.Lgs.262 del 4/9/2002, valutazione dei requisiti passivi degli edifici DPCM del 5/12/97.

Tab 5.1 Caratteristiche della strumentazione utilizzata.



- fonometro HD2010 classe 1,
- microfono MK221 e preamplificatore HD2010PN,
- calibratore di livello sonoro HD2020 classe 1 secondo IEC60942:2003 con display LCD
- schermo antivento HD SAV,
- cavo prolunga da 5m CPA/5,
- cavo seriale HD2110RS (RS232) oppure HD2110USB (USB),
- programmaNoise Studio base,
- valigetta,
- rapporti di taratura ISO 9001 per fonometro e filtri, calibratore

Fonometrointegratore ed analizzatore di spettro di classe 1 con funzioni di data logging e memoria da 4MB, LCD retroilluminato.

Analisi di spettro in tempo reale, in classe 1 secondo IEC61260:1997, per bande d'ottava da 16Hz a 16kHz.

Campo misure 21dB – 140dB, campo lineare 80dB.

Microfono da ½" a condensatore ad elevata stabilità, polarizzato a 200V, ottimizzato per misure in campo libero tipo WS2F secondo IEC61094-4:1995.

Omologato I.N.R.I.M. classe 1 secondo IEC 61672:2002

Il segnale del preamplificatore giunge al ricevitore dello strumento che lo invia all'uscita lineare all'ingresso del convertitore A/D.

Il segnale analogico viene convertito in forma numerica a 20bit dall'A/D. La dinamica di misura, di oltre 140dB, viene suddivisa in 5 campi utilizzando un amplificatore a guadagno variabile a passi di 10dB, da 0dB a 20dB, posto all'ingresso.

Il segnale digitalizzato giunge al DSP (Digital Signal Processor) per essere elaborato. Nel DSP sono calcolati in parallelo i livelli con le ponderazioni a larghezza di banda percentuale costante (bande d'ottava) ed i livelli di picco (C e Z).

I livelli calcolati dal DSP sono trasmessi al microprocessore per essere ulteriormente elaborati, visualizzati, memorizzati e stampati.

5.2.4 Descrizione dei parametri di acquisizione

Per effettuare il monitoraggio si è ricorso a differenti configurazioni strumentali, variando opportunamente i parametri di acquisizione a disposizione. In questo modo si

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 178 di 201	Rev. 0

è voluto coprire la gamma completa degli scenari possibili relativi al rumore ambientale da monitorare.

In generale per coprire le fasi di lavorazione principali si è acquisito un profilo temporale, di durata variabile, acquisendo 4 parametri secondo due diversi tipi di registrazioni:

a. Modalità profilo temporale

In questa configurazione si acquisiscono 3 parametri (L_{Aeq} , L_{Cpkmax} , L_{Ceq}) campionati 2 volte al secondo e il livello sonoro ponderato A, con costante Fast, 8 volte al secondo (Fig. 5.5 e 5.6).

b. Modalità spettro

In questa configurazione si acquisiscono i medesimi 3 parametri (L_{Aeq} , L_{Cpkmax} , L_{Ceq}) campionati 2 volte al secondo insieme ad un'analisi dello spettro in frequenza per bande d'ottava.

A scopo comparativo inoltre, si sono acquisite sia registrazioni dei parametri acustici istantanei sia dei parametri acustici integrati a banda larga.

Durante il monitoraggio è stata posta particolare attenzione nello scegliere, in funzione delle situazioni specifiche, i parametri con i quali ponderare le frequenze e le costanti di tempo da impiegare.

Ponderazione di frequenza

Per valutare l'impatto uditivo nell'area circoscritta al cantiere, si sono dovute apportare correzioni al segnale acustico fornito dal microfono in modo da simulare il più possibile la sensazione uditiva; si è quindi corretta la sensibilità del microfono affinché risultasse dipendente dalla frequenza come avviene per l'orecchio umano.

Sono state definite a questo proposito come standard internazionale (IEC 60651, recentemente sostituita dalla IEC61672) due curve di correzione chiamate "ponderazione A" e "ponderazione C":

- la curva di *ponderazione A* corregge il livello sonoro simulando la sensazione uditiva per bassi livelli sonori;
- la curva di *ponderazione C*, corregge il livello sonoro simulando la sensazione uditiva per livelli sonori elevati.

Esiste anche un terzo di tipo di curva detta di "ponderazione Z", che fornisce una risposta costante a tutte le frequenze in campo audio.

Costanti di tempo

Poiché i livelli sonori dei cantieri monitorati sono risultati molto fluttuanti, per tenere conto anche della variabilità nel tempo ci si è avvalsi, a seconda dei casi, di due tipi di risposta istantanea:

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 179 di 201	Rev. 0

- rapida di tipo Fast (pari a 0.125s), che simula la risposta dell'orecchio;
- lenta chiamata Slow (pari a 1 secondo), che fornisce un livello sonoro abbastanza stabile anche nel caso di rumori rapidamente fluttuanti.

Volendo simulare ad esempio la sensazione uditiva si è optato per rilevare un livello sonoro *ponderato A* con costante di tempo di tipo Fast.

Con un'approssimazione piuttosto grossolana è possibile considerare i livelli a costante di tempo Fast oppure Slow come delle medie a breve termine, tuttavia poiché la propagazione del suono è una forma di trasporto dell'energia, per una corretta interpretazione del contenuto energetico è necessario considerare anche della durata degli eventi sonori. Si è quindi calcolato il *livello equivalente* definito come il livello costante che ha il medesimo contenuto energetico del livello fluttuante nell'intervallo di tempo in esame.

Il livello equivalente *ponderato A* (L_{Aeq}) verrà utilizzato per misurare il contenuto energetico di una sorgente di rumore fluttuante in un determinato intervallo temporale. Considerando una sorgente di rumore intermittente, quale quello prodotto nelle aree di cantiere analizzate, il livello equivalente fornisce una misura del livello energetico medio.

La seguente tabella riassume i livelli acustici campionati ed i trattamenti effettuati sui dati.

Tab 5.2 *Livelli acustici visualizzati numericamente*

Livelli acustici istantanei campionati ogni 0.5s				
<i>Parametro</i>	<i>Sigla</i>	<i>Definizione</i>	<i>Pond.Freq.</i>	<i>Pond.Temp.</i>
$L_{Xeq(Short)}$	L_{eqS}	Livello equivalente breve(0.5s)	X= A,C, Z	---
Livelli acustici integrati				
<i>Parametro</i>	<i>Sigla</i>	<i>Definizione</i>	<i>Pond.Freq.</i>	<i>Pond.Temp.</i>
L_{Xeq}	L_{eq}	Livello continuo equivalente	X= A,C, Z	---
L_{Xpkmax}	L_{pkmax}	Livello massimo di picco	X= C, Z	---
Livelli acustici visualizzabili in forma grafica				
Profilo temporale				
<i>Parametro</i>	<i>Sigla</i>	<i>Definizione</i>	<i>Pond.Freq.</i>	<i>Pond.Temp.</i>
L_{AFmax}	L_{Fmx}	Livello massimo di pressione sonora	X= A	F

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 180 di 201	Rev. 0

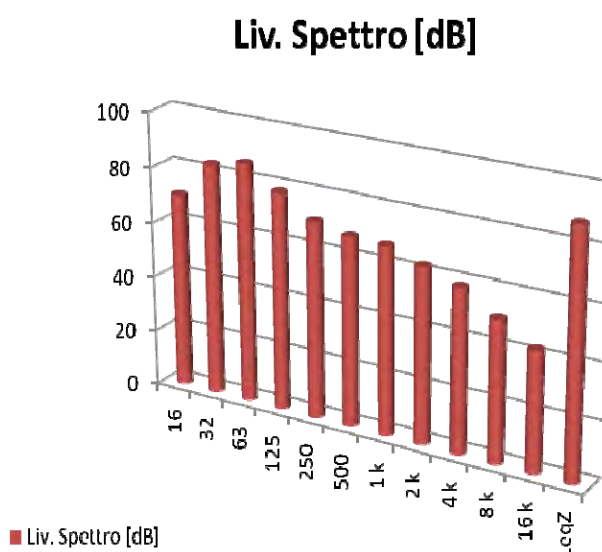
5.3 Risultati del monitoraggio fonometrico

5.3.1 Villesse: analisi spettrale e livelli acustici registrati

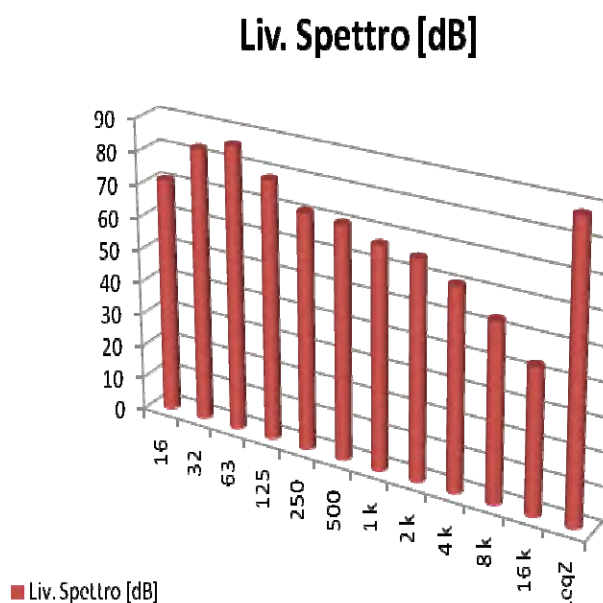
Nelle situazioni in cui si è voluto effettuare un'analisi dettagliata delle caratteristiche dei suoni presenti nell'area studiata ci si è avvalsi ad un'analisi spettrale per bande.

Figura 5.3: Analisi spettrali presso il cantiere di Villesse

DATA: 2010/05/11 09:33:18
PARAMETRI STRUMENTO
Input: MIC
Gain: 30 dB
Acoustic Field: FF
Wind Shield: OFF
Integration Mode: SINGLE
Integration Time:15 m
Profile Time: 0,125 s
Exchange Rate:3 dB
Dose Threshold:60 dB
Criterion Level:90 dB
Overload Level:141 dB
PARAMETRI SEZIONE
SpectrumType: AVERAGE
SpectrumAvg: LINEAR



DATA: 2010/05/11 10:19:32
PARAMETRI STRUMENTO
Input: MIC
Gain: 30 dB
Acoustic Field: FF
Wind Shield: OFF
Integration Mode: MULTI
Integration Time:10 s
Profile Time: 0,125 s
Exchange Rate:3 dB
Dose Threshold:60 dB
Criterion Level:90 dB
Overload Level:141 dB
PARAMETRI SEZIONE
SpectrumType: AVERAGE
SpectrumAvg: LINEAR



 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 181 di 201	Rev. 0

Per questo tipo di analisi la gamma delle frequenze audio (da 20Hz a 20kHz) è stata suddivisa in bande a larghezza percentuale costante pari ad un'ottava cioè il cui limite superiore è sempre pari al doppio del limite inferiore.

E' stato calcolato quanta parte del livello sonoro dipende dalle frequenze comprese entro i limiti di ciascuna banda ed i risultati di queste analisi sono illustrati negli spettrogrammi di fig 5.5 e 5.6, che riportano in forma grafica i livelli sonori per ciascuna delle bande dello spettro audio.

In questi due grafici sono rappresentati gli spettri per bande d'ottava acquisiti presso il cantiere di Villesse nel periodo di tempo compreso dalle 9:30 fino alle 10:20 del mattino del giorno 11 maggio 2010, mentre la macchina TBM era in funzione e si trovava rispettivamente alle progressive planimetriche 76 m e 79 m della perforazione.

Il primo grafico presenta un'integrazione del segnale singola su un intervallo di 15 minuti.

Il secondo grafico presenta un'integrazione del segnale multipla nel secondo, su un intervallo di 10 secondi.

In entrambi i casi si osserva uno spettro caratterizzato da intensità maggiore per quanto riguarda le basse frequenze e in particolar modo nell'intervallo compreso tra i 32Hz e i 125Hz con valori compresi tra i 70 e i 90 decibel.

L'ultima colonna rappresenta il livello a larga banda ponderato Z.

Lo stesso giorno si è effettuata una registrazione in modalità continua di circa 1 ora a partire dalle ore 10:20 con una interruzione di circa 10 minuti, campionando i seguenti livelli acustici integrati: L_{Aeq} , L_{Cpkmax} e L_{Ceq} .

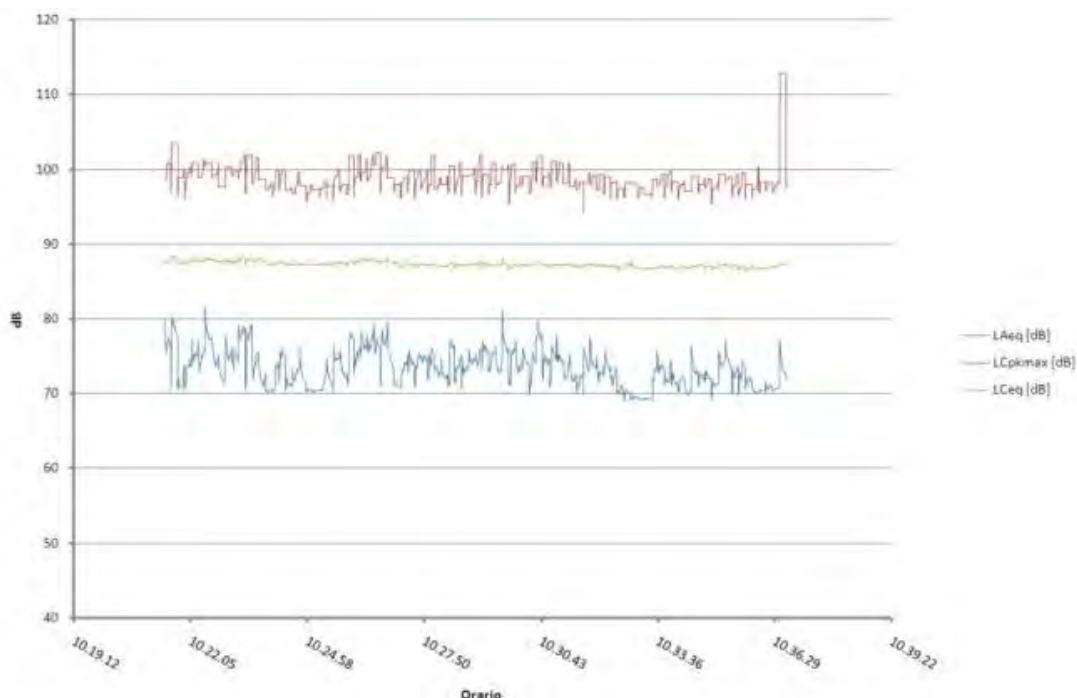


Figura 5.4: Livelli acustici presso il cantiere di Villesse, dalle ore 10:19 alle ore 10:36

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 182 di 201	Rev. 0



Figura 5.5: Livelli acustici presso il cantiere di Villesse, dalle ore 10:41 alle ore 11:38

Il profilo temporale L_{AFmx} , acquisito simultaneamente mostra una soglia di pressione sonora sempre superiore a 70 decibel con fluttuazioni frequenti e decisamente irregolari che raggiungono livelli di 90 decibel (fig 5.7 e 5.8).

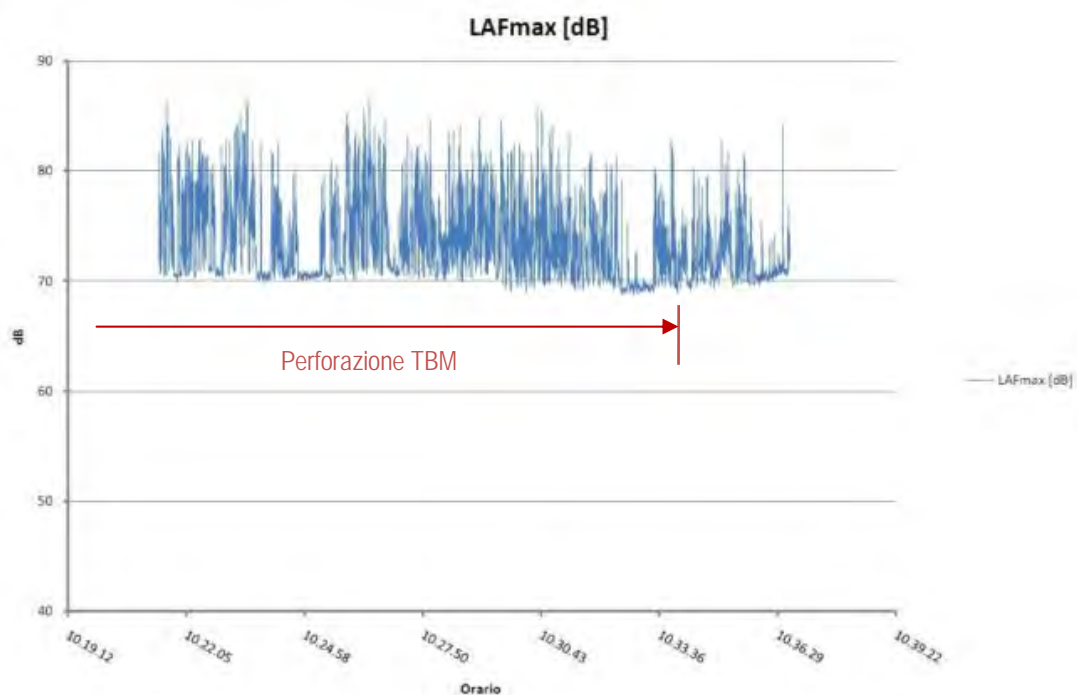


Figura 5.6: Profilo temporale presso il cantiere di Villesse, dalle ore 10:19 alle ore 10:36

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 183 di 201	Rev. 0

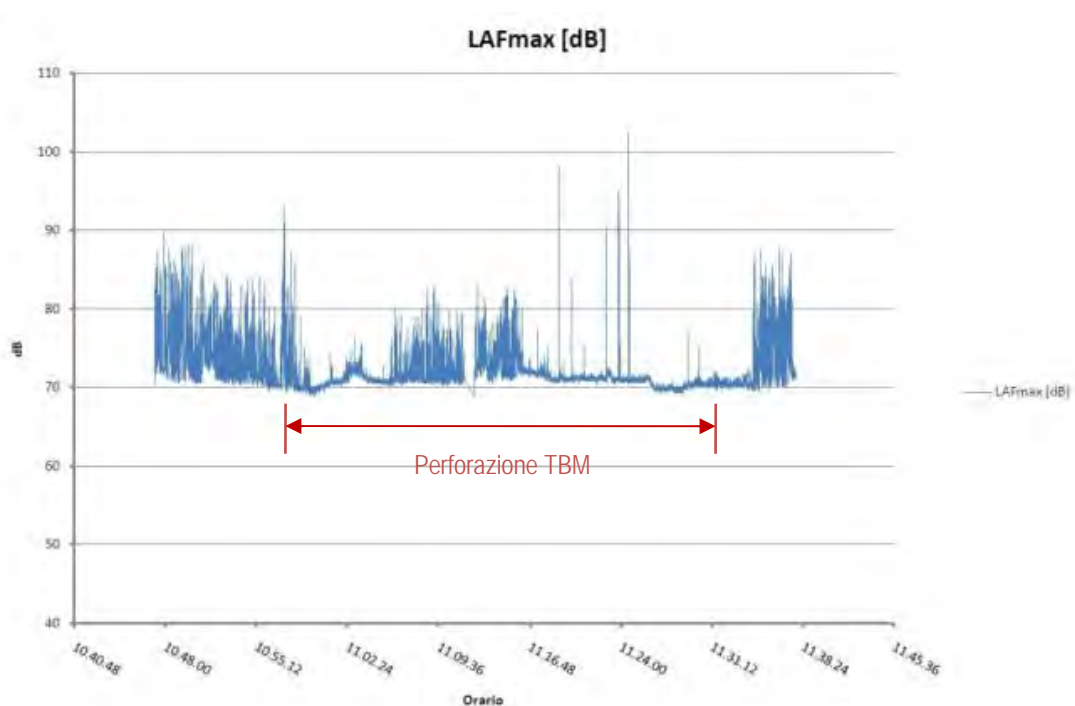


Figura 5.7: Profilo temporale presso il cantiere di Villesse, dalle ore 10:41 alle ore 11:38

I picchi di pressione sonora registrati nell'area del cantiere sono imputabili all'attività di pale meccaniche in movimento, al transito di automezzi pesanti e cingolati, ai compressori, etc. e non possono essere connessi all'attività della fresa TBM. Questa, infatti, lavora in modo estremamente regolare durante l'avanzamento nel terreno mentre contemporaneamente i macchinari di supporto lavorano a regime costante.

Solo durante la perforazione del diaframma in calcestruzzo della buca di spinta si è evidenziato che l'avanzamento procede in maniera discontinua.

Per questioni di sicurezza le specifiche tecniche dei mezzi operanti in cantiere prevedono un livello di rumore in esercizio prossimo a 70dB, il che spiega il rumore di fondo misurato, in quanto questi apparecchi sono quasi costantemente in funzione.

E' importante considerare le "finestre" di registrazione comprese tra le ore 11:00-11:10 e 11:16-11:34, momenti in cui la TBM avanzava a pieno regime (come evidenziano anche le registrazioni velocimetriche di figura 5.9 per il cantiere di Vipacco) ma di cui non si ha alcuna evidenza osservando solo i dati fonometrici. Questi infatti rilevano soprattutto il rumore dei mezzi operanti in superficie per la mobilitazione dei conci ed il loro posizionamento all'interno della postazione di spinta, ma che, durante le fasi di perforazione restano in attesa o riducono sensibilmente l'attività.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 184 di 201	Rev. 0

5.3.2 Vipacco: analisi spettrale e livelli acustici registrati

Anche nel cantiere presso il fiume Vipacco, il giorno 2 luglio dalle ore 8:40 alle ore 11:40 si sono effettuate delle registrazione in continuo dei livelli acustici istantanei LAeqS e dei livelli acustici integrati LAeq e LZeq, nonché si è acquisita l'analisi in frequenza per bande d'ottava, di seguito riportata.

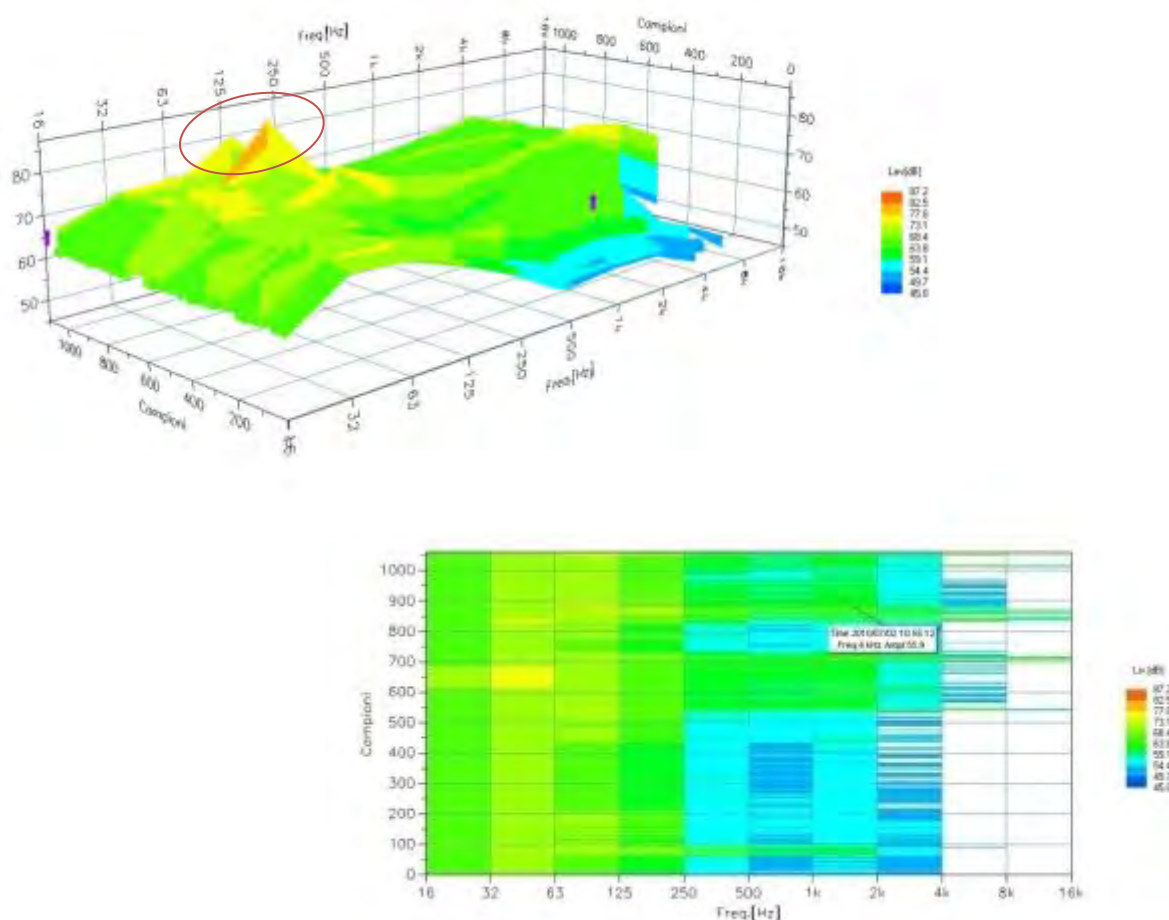


Figura 5.8: Analisi spettrale presso il cantiere di Vipacco, dalle ore 8:38 alle ore 11:31

Come viene evidenziato dai grafici precedenti si osserva un contenuto spettrale della finestra temporale analizzata principalmente spostata verso le basse frequenze (32Hz-125Hz) con intensità comprese tra i 60 e i 70dB, che solo in alcuni casi raggiungono in maniera isolata gli 80dB. Sono quasi del tutto assenti le componenti ad altissima frequenza a partire dai 4kHz.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 185 di 201	Rev. 0

5.4 Correlazione dei dati del rilievo acustico con quelli vibrometrici.

Anche in questo caso le registrazioni fonometriche sono state effettuate in concomitanza con le fasi di perforazione.

Il grafico riportato in fig. 5.10 sovrappone i periodi di registrazione fonometrica alle registrazioni velocimetriche effettuate presso la postazione di spinta. Nel grafico si distinguono chiaramente i 4 periodi di operatività della macchina TBM della durata media di circa 2 ore, comprensivi anche del tempo necessario a posizionare i nuovi conci in calcestruzzo nella stazione di spinta.

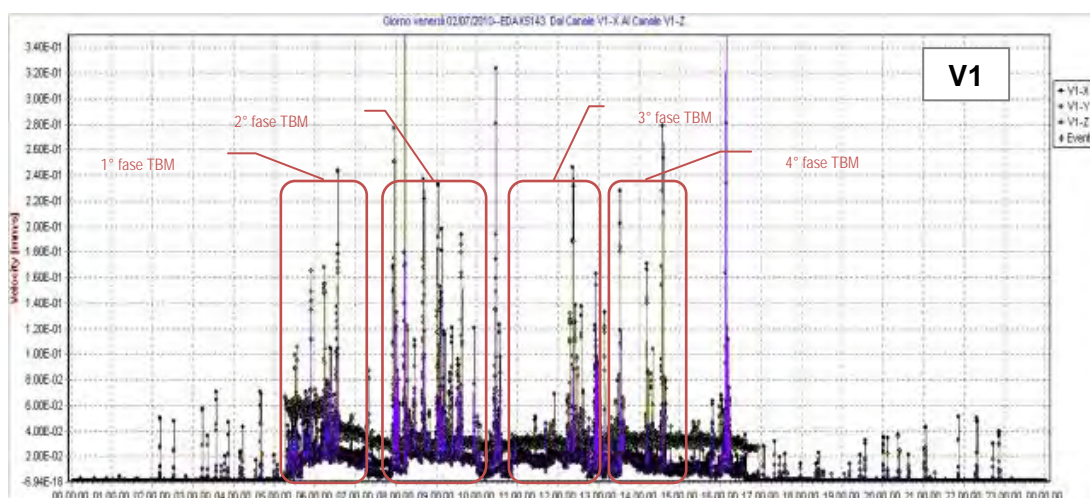


Figura 5.9: Registrazione velocimetrica di 24 ore presso il cantiere di Vipacco in corrispondenza della postazione di spinta.

Come precedentemente sottolineato, nei differenti profili temporali della pressione sonora non si osserva un contributo, costante e regolare, che testimoni il funzionamento della TBM che invece è stato nettamente osservato con le registrazioni effettuate mediante gli apparecchi velocimetrici.

Nell'intervallo di tempo compreso tra le ore 10:11 e le ore 10:43, in concomitanza alla attività di perforazione, si osserva un aumento nei profili LAeq e LAeqS che raggiungono valori intorno ai 70dB, ma questo aumento è dovuto al transito nei pressi della postazione di registrazione di mezzi meccanici e gru, che apportano un contributo di rumore decisamente maggiore rispetto a quello potenzialmente connesso al funzionamento della TBM.

Osservando l'analisi in frequenza e i differenti profili temporali riferiti al cantiere di Vipacco, si osservano valori dei livelli acustici tendenzialmente più bassi rispetto alla situazione osservata presso il cantiere di Villesse. Questo, infatti, è situato a pochi metri della carreggiata autostradale e risente di un livello acustico influenzato dal contributo del traffico veicolare, mentre il cantiere di Vipacco è situato in campagna dove la viabilità è più lontana ed il traffico decisamente meno intenso.

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 186 di 201	Rev. 0



Figura 5.10: Livelli acustici presso il cantiere di Vipacco, dalle ore 8:38 alle ore 11:31

Risulta quindi evidente come, a livello fonometrico, la componente preponderante del rumore nell'area del cantiere non sia dovuta alla perforazione in senso stretto bensì alle normali fasi di lavorazione ad essa connesse.

5.5 Conclusioni

Dal monitoraggio acustico effettuato non è stato possibile effettuare precise correlazioni con la specifica attività di perforazione a causa delle emissioni sonore emesse dall'insieme delle attività di cantiere associate alla perforazione.

Si evidenzia però la differenza dei livelli acustici tra due cantieri e dovuta alla presenza della Autostrada situata in adiacenza al cantiere di Villesse ed al rumore connesso al traffico veicolare.

Come considerazione di carattere generale si può affermare che le variabili ambientali fonte di potenziale interferenza durante un monitoraggio acustico sono tali da rendere quantomeno opinabile ogni tentativo di estendere altrove i risultati di misurazioni fonometriche effettuate in condizioni ambientali naturali, dove non è possibile isolare il sistema sorgente-ricevitore.

Dal monitoraggio risulta evidente come l'impatto acustico del cantiere copre e rende indistinguibile ogni rumore causato direttamente dalla perforazione durante le sue fasi di avanzamento e come il volume delle emissioni acustiche rilevate ai margini del cantiere resti sostanzialmente indipendente dalla attività della fresa.

Si può concludere, quindi che il rumore prodotto dall'avanzamento della fresa non costituisce un disturbo aggiuntivo rispetto al normale inquinamento acustico prodotto dalle attività dei mezzi e dei macchinari operanti in superficie. Quindi anche i metodi di

 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 187 di 201	Rev. 0

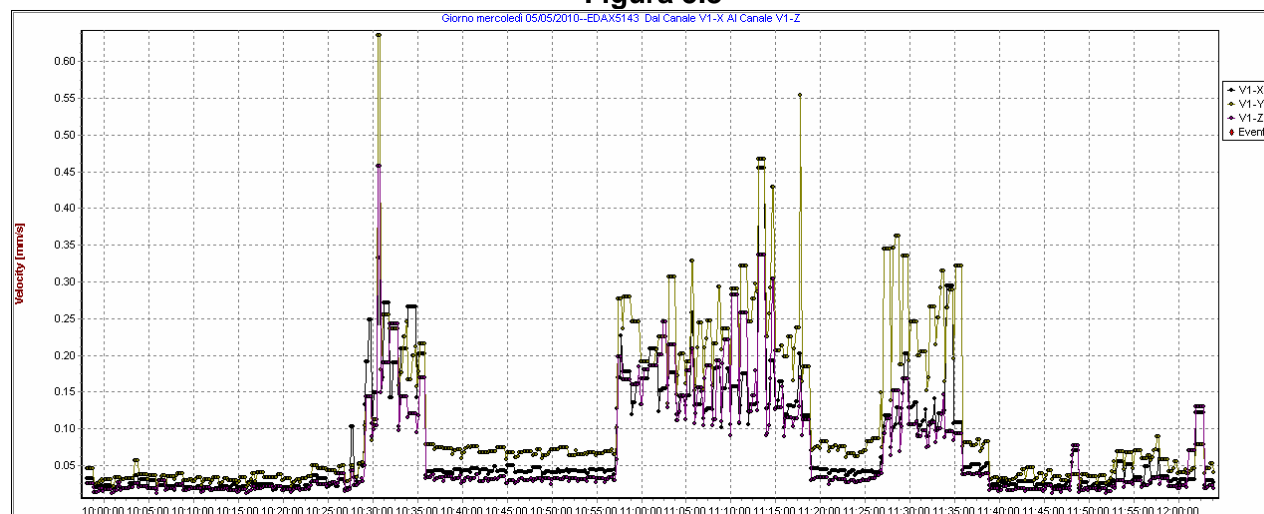
simulazione della propagazione del rumore, generalmente effettuati per le attività di linea possono essere applicati anche ai cantieri per microtunnel, considerando come sorgenti del rumore solo mezzi ed i macchinari operanti in superficie.

 snam rete gas	PROGETTISTA  		COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 188 di 201	Rev. 0

ALLEGATI

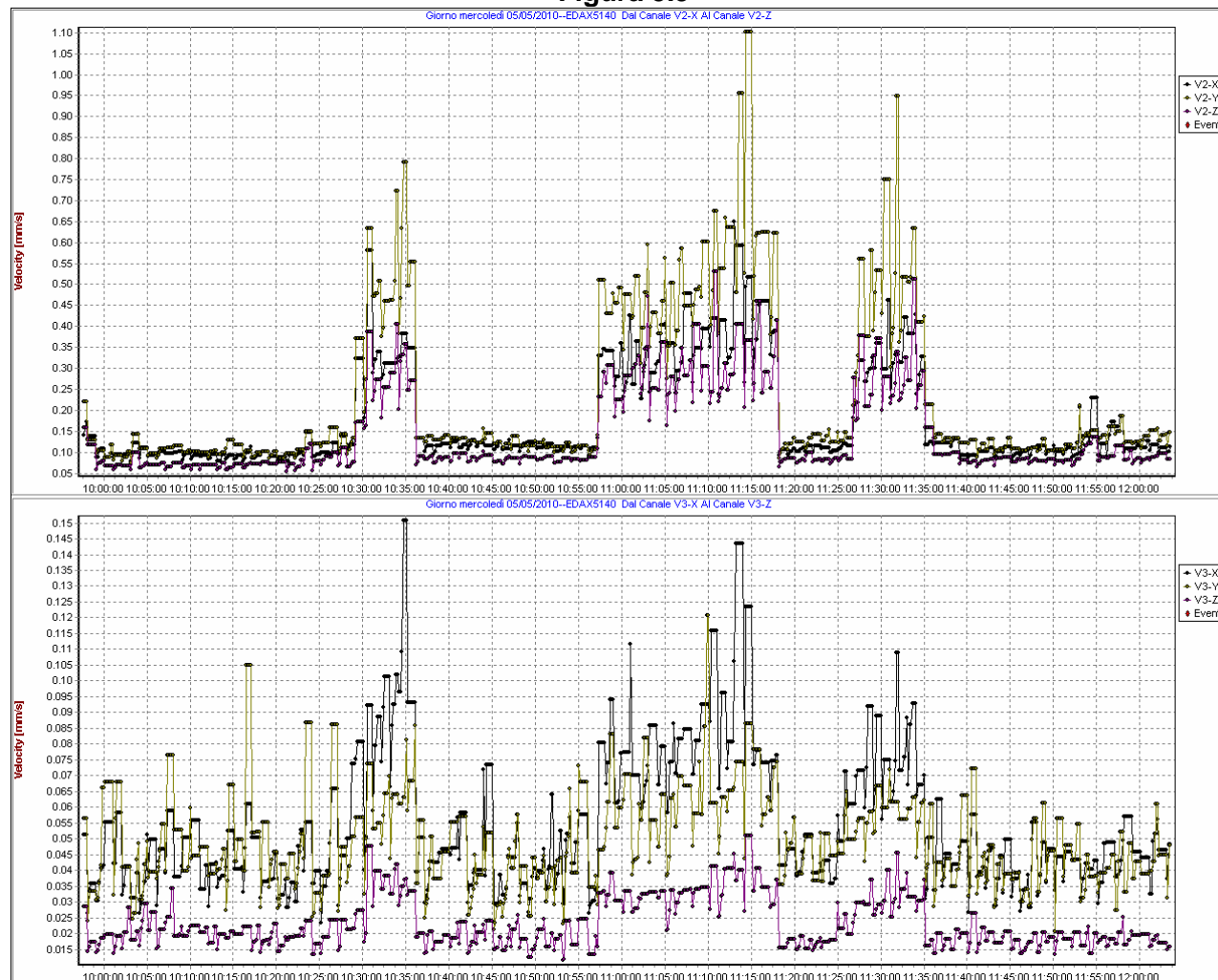
 	PROGETTISTA  		COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 189 di 201	Rev. 0

Figura 5.8



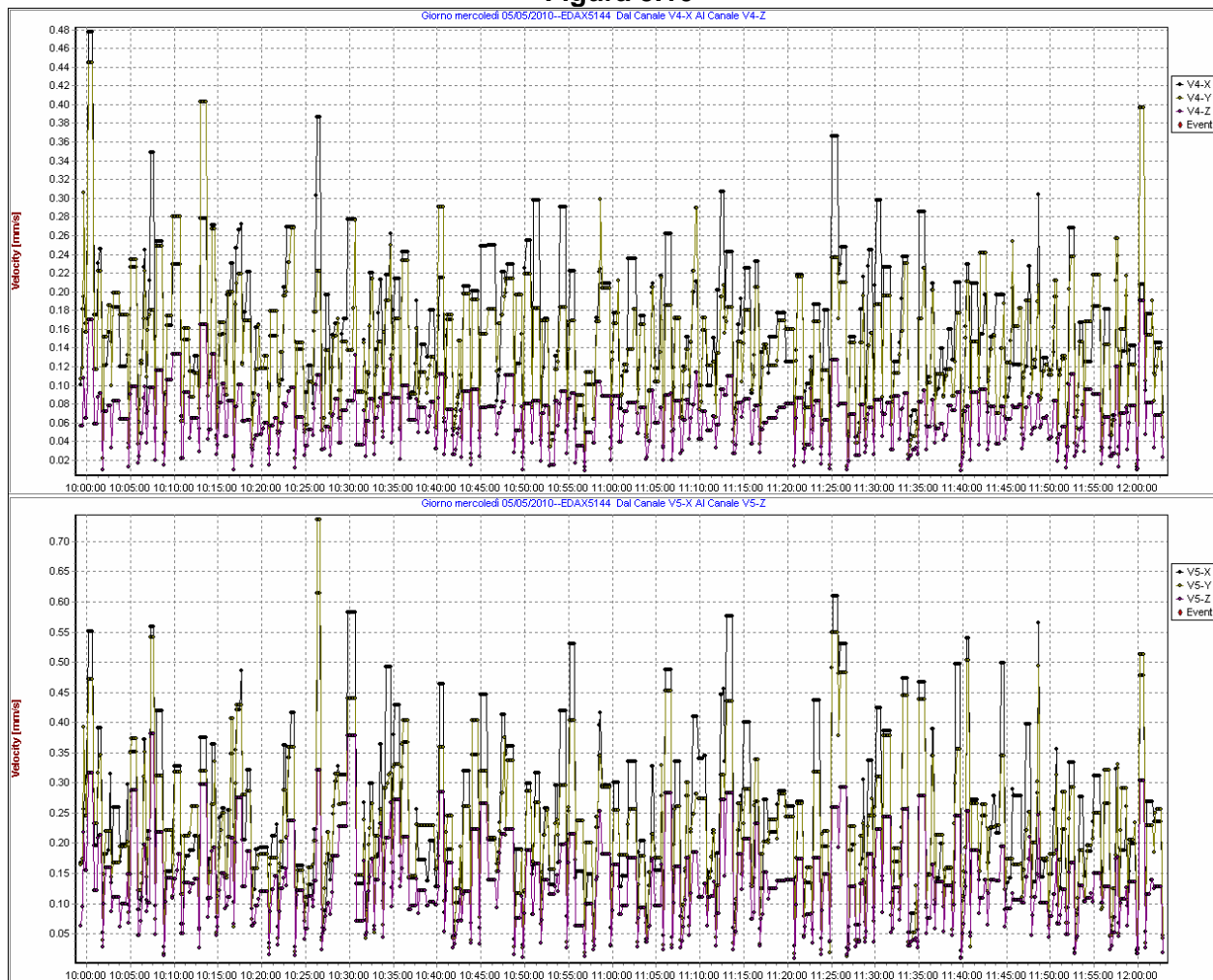
 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 190 di 201	Rev. 0

Figura 5.9



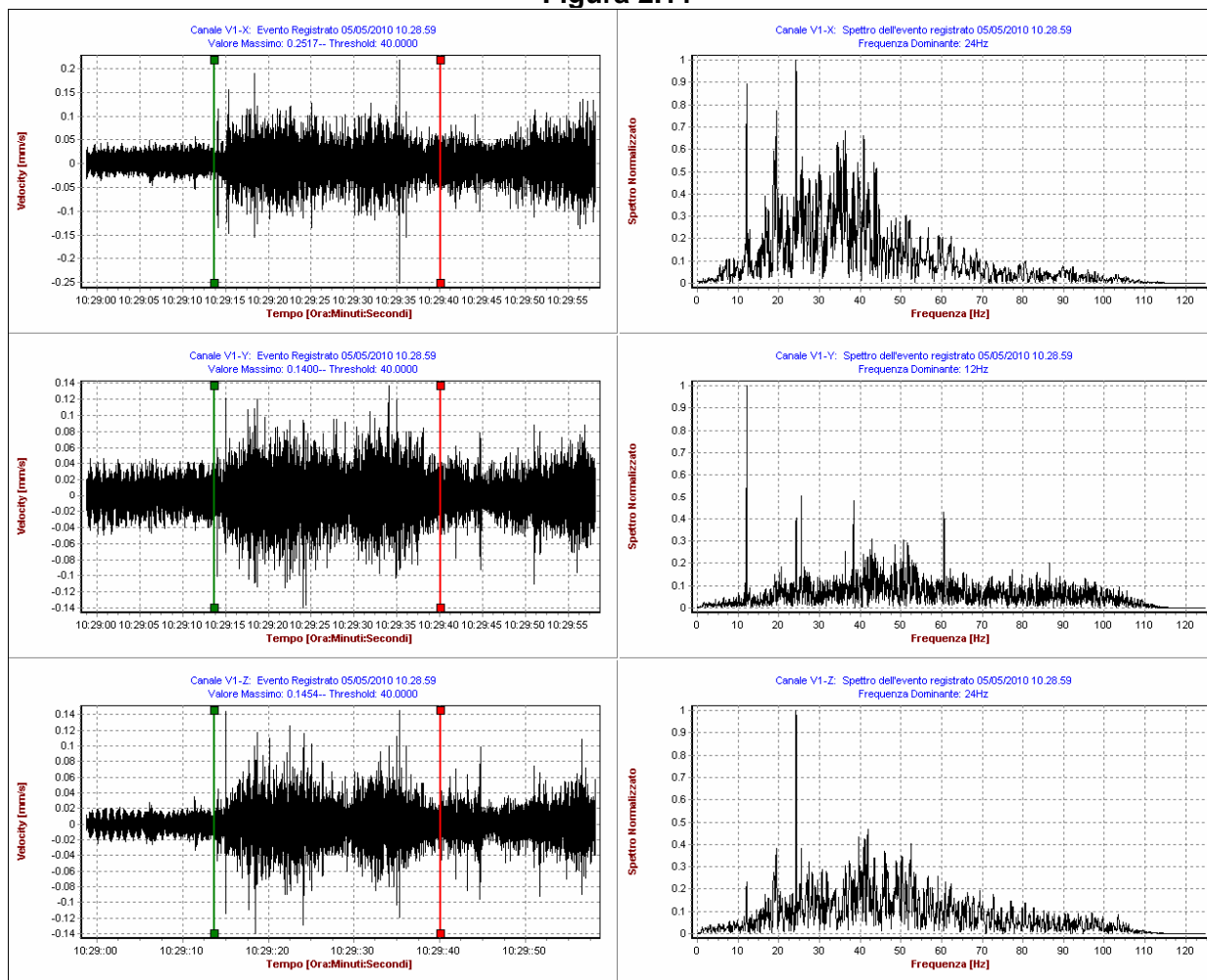
 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 191 di 201	Rev. 0

Figura 5.10



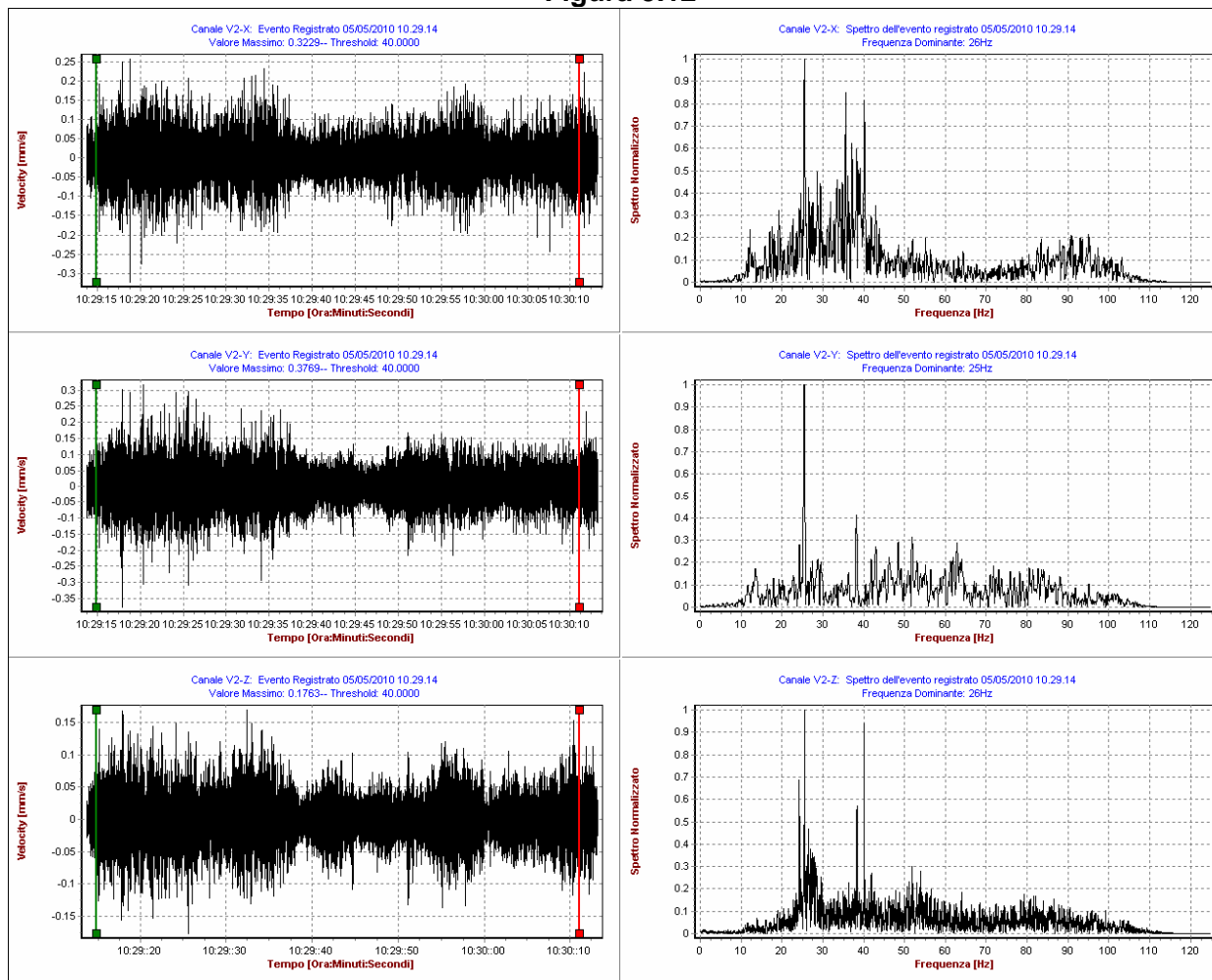
 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 192 di 201	Rev. 0

Figura 2.11



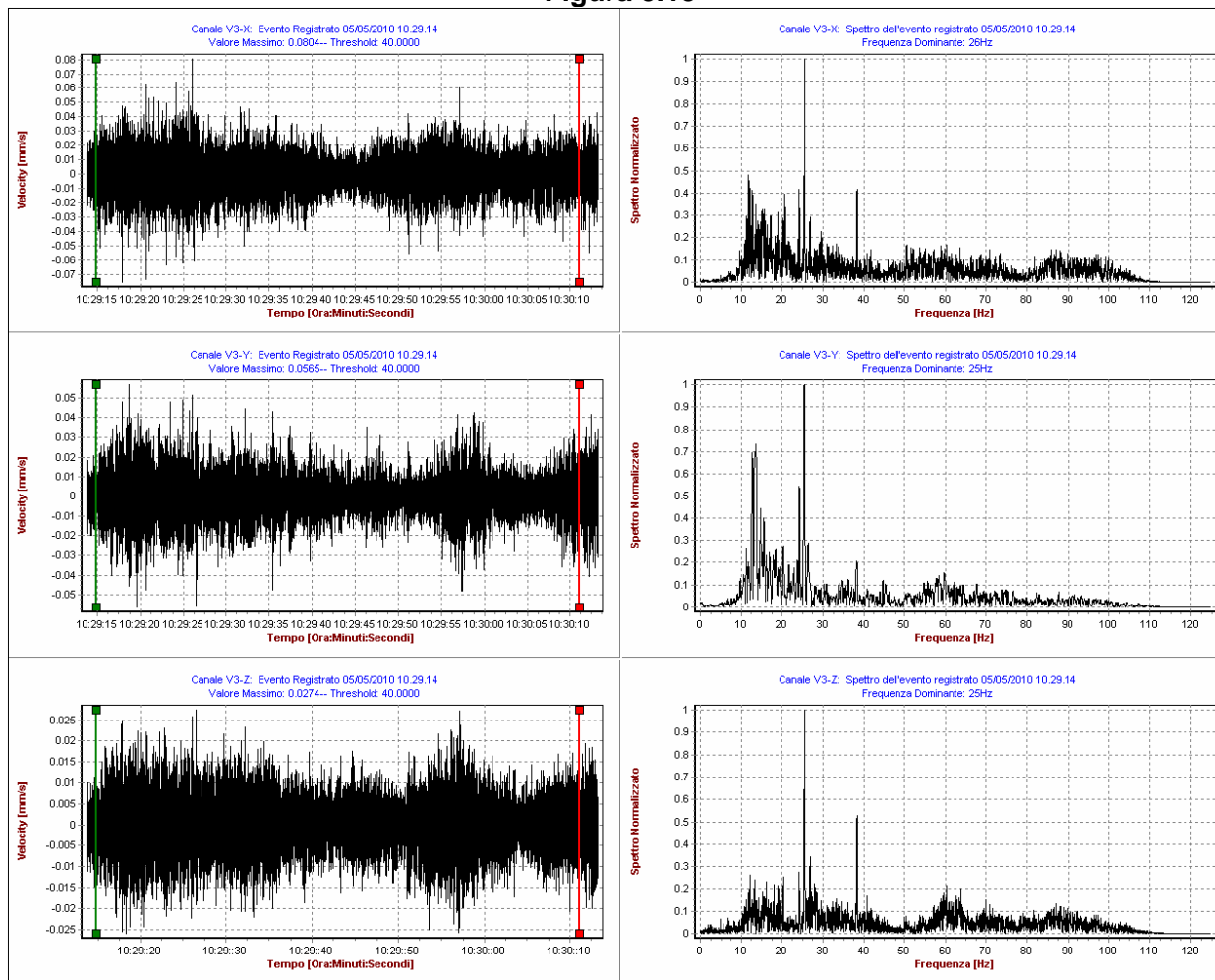
 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 193 di 201	Rev. 0

Figura 5.12



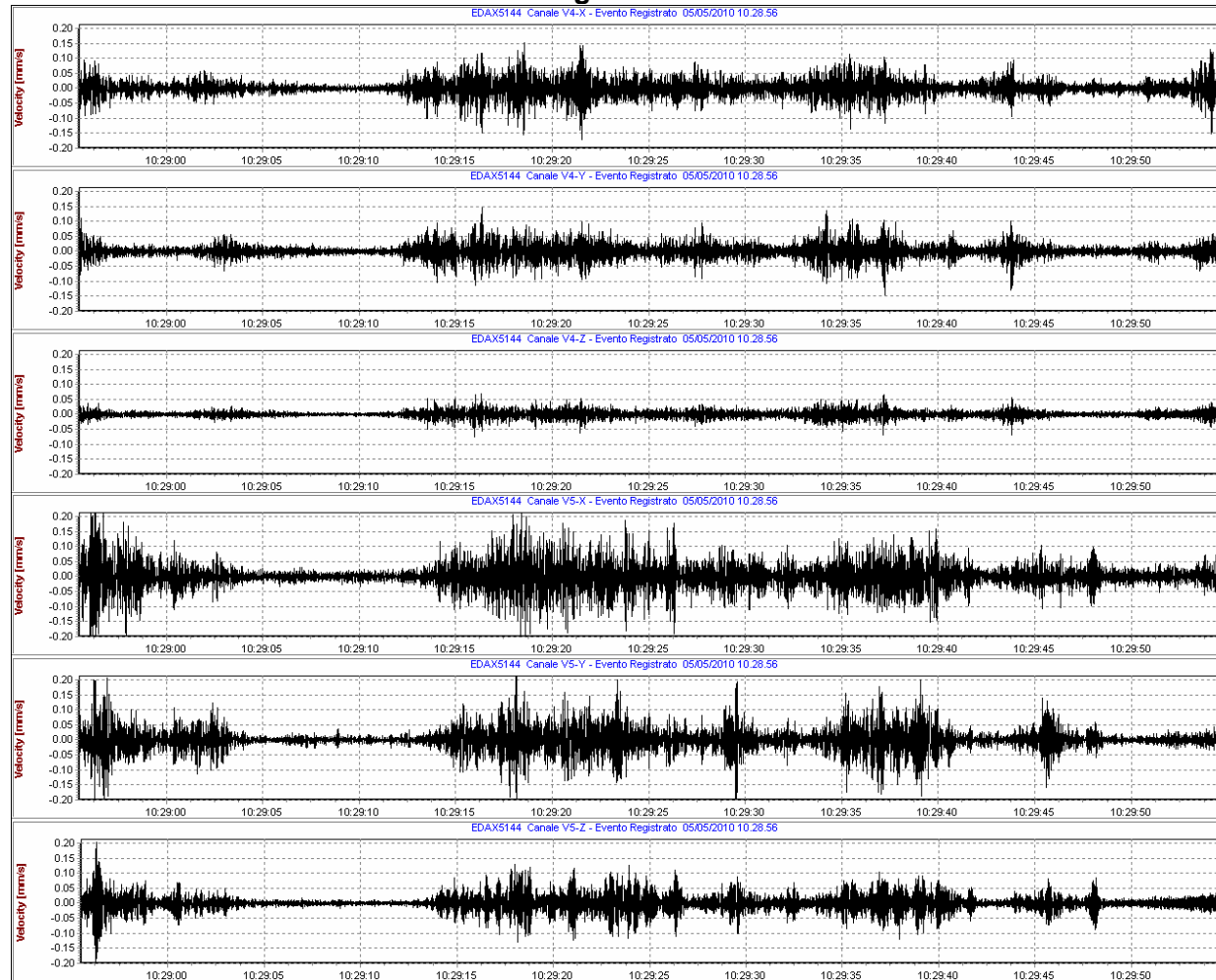
 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 194 di 201	Rev. 0

Figura 5.13



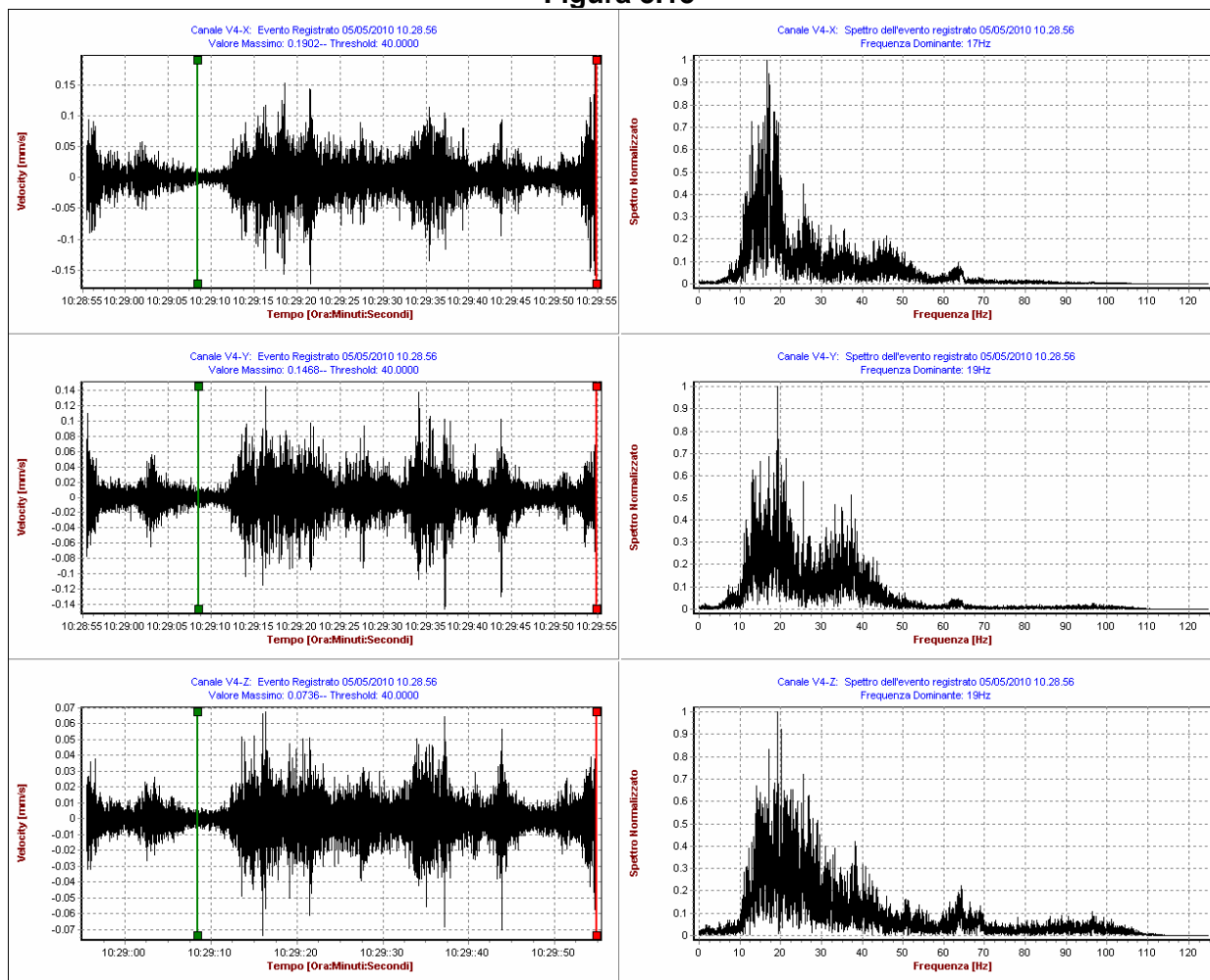
 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 195 di 201	Rev. 0

Figura 5.14



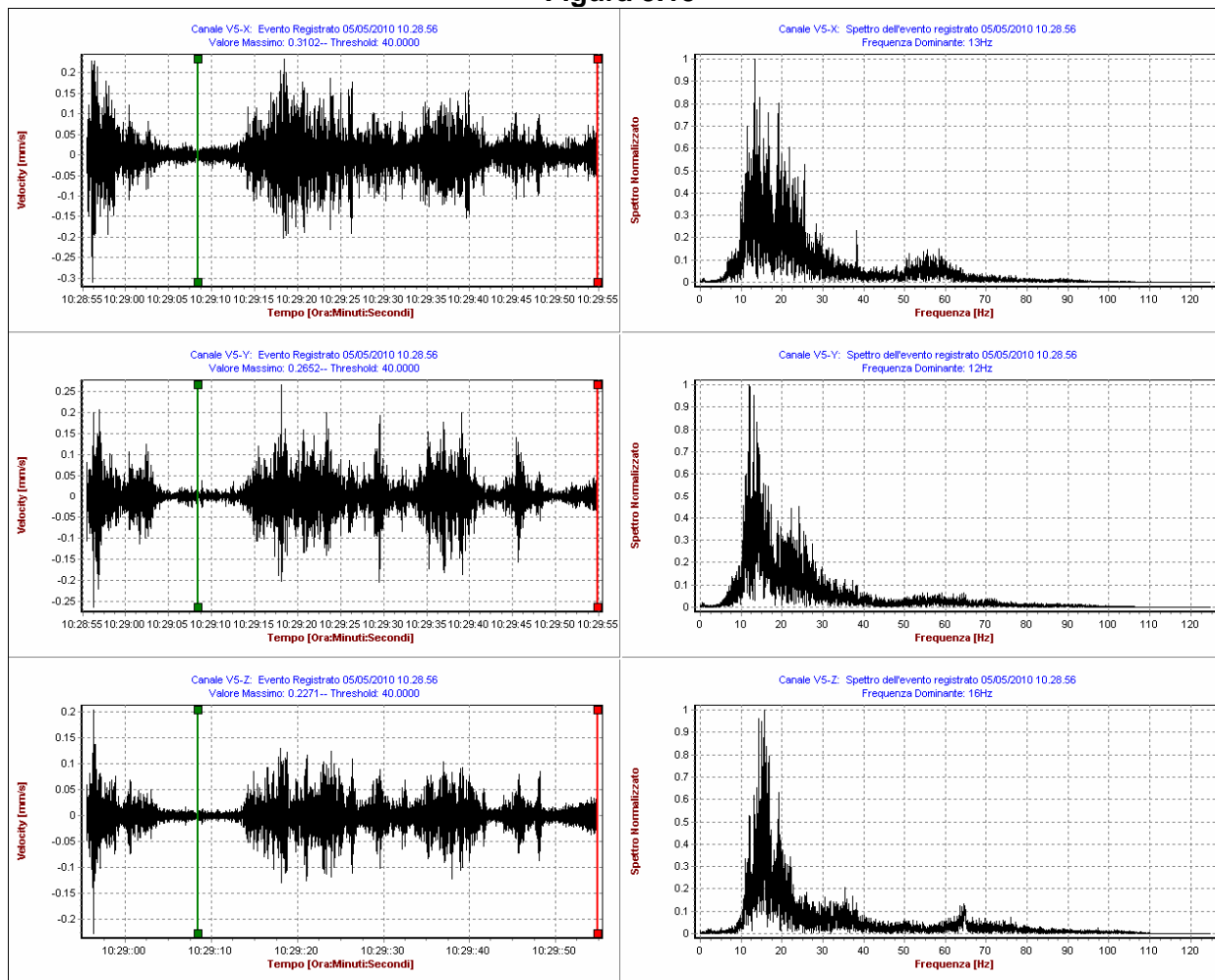
 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 196 di 201	Rev. 0

Figura 5.15



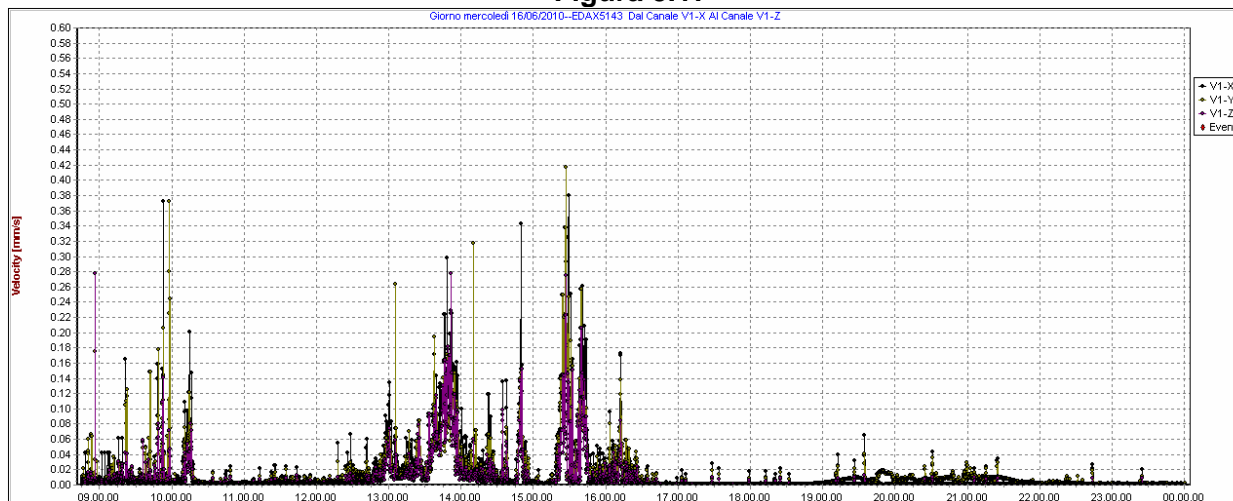
 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 197 di 201	Rev. 0

Figura 5.15



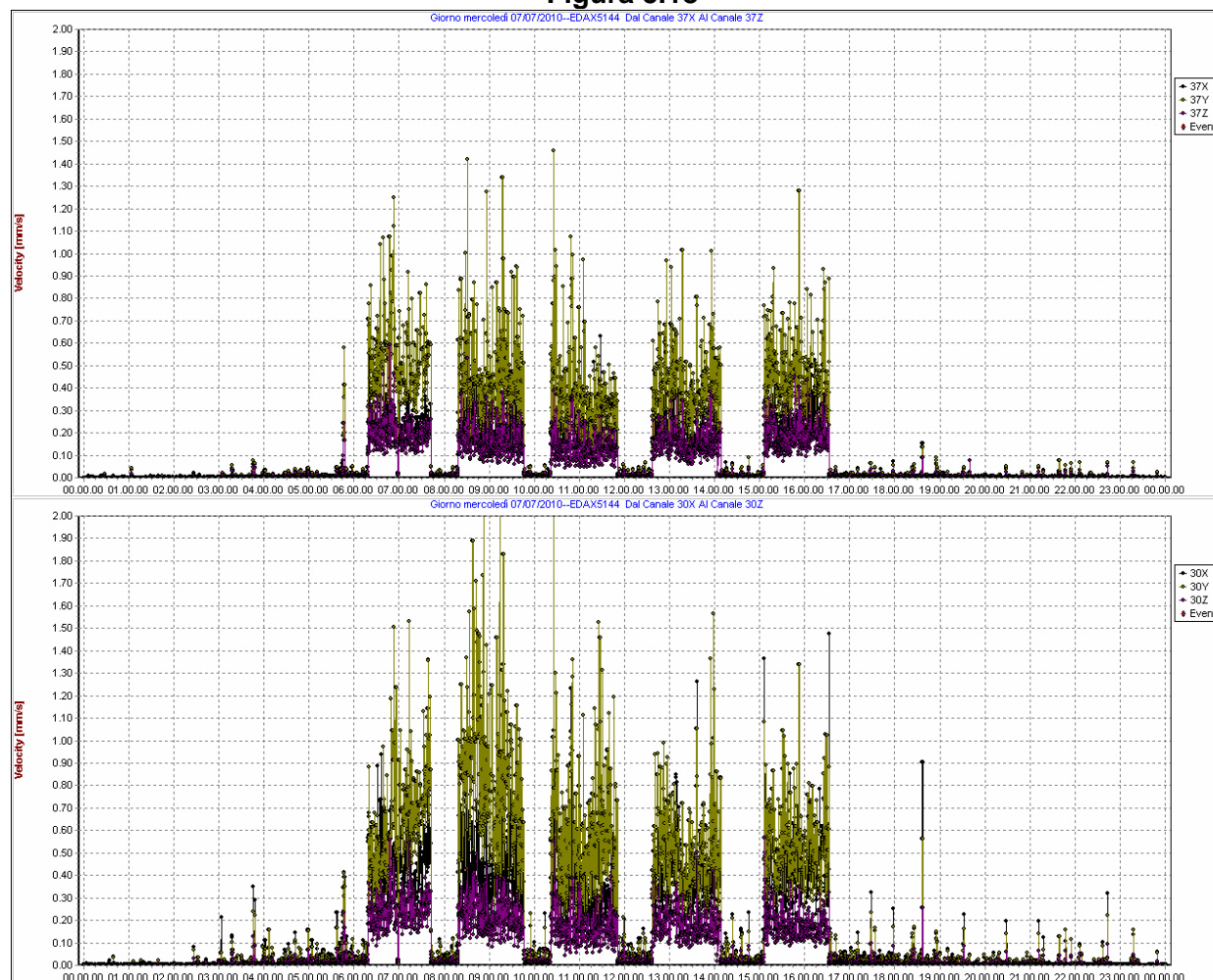
 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 198 di 201	Rev. 0

Figura 5.17



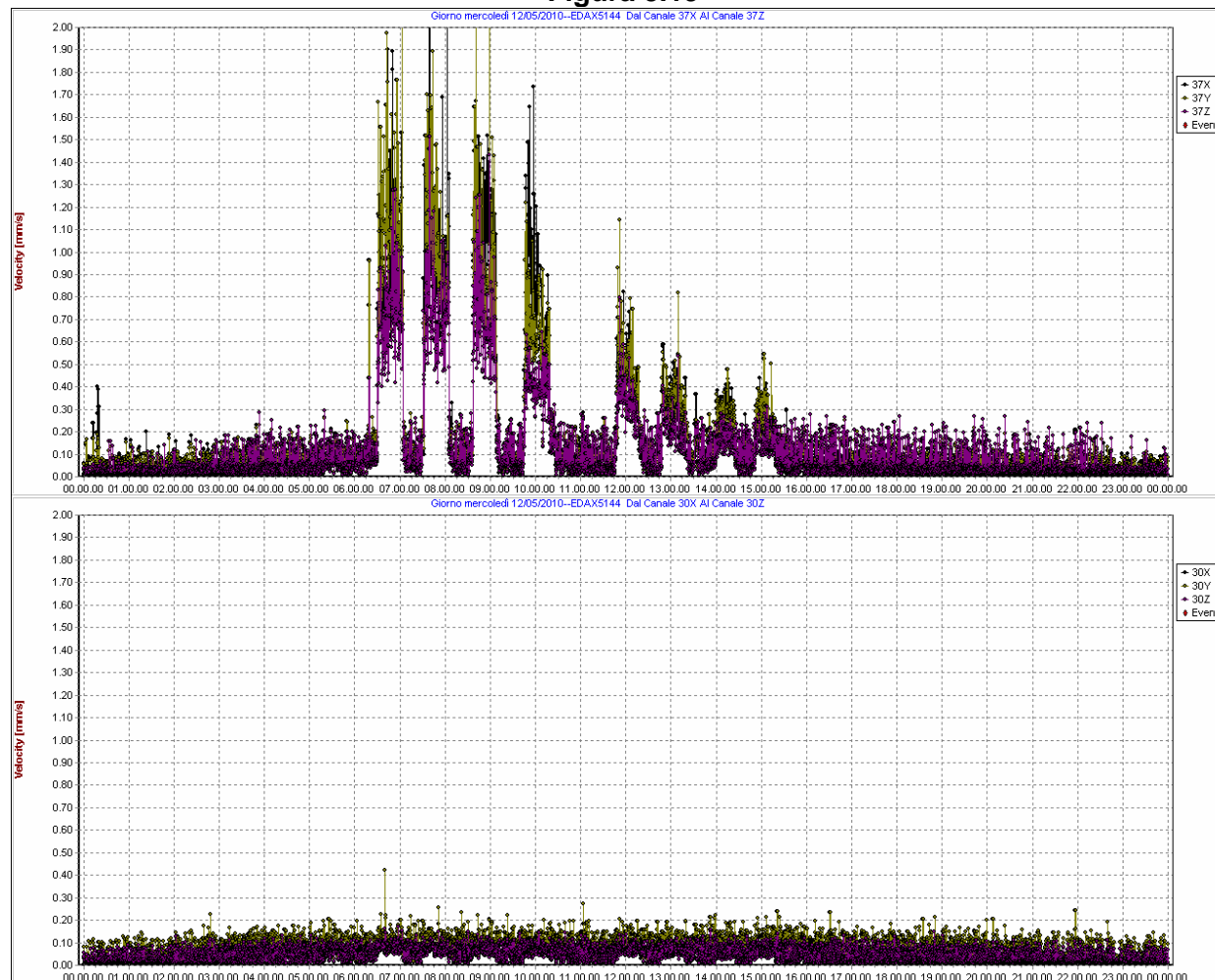
 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 199 di 201	Rev. 0

Figura 5.18



 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 200 di 201	Rev. 0

Figura 5.19



 snam rete gas	PROGETTISTA  	 SolGeo Soluzioni geofisiche	COMMESSA 669830	UNITÀ 10
	LOCALITÀ Regione Friuli-Venezia Giulia		SPC. LA-E- 80350	
	PROGETTO Met. Villesse-Gorizia		Fg. 201 di 201	Rev. 0

Figura 5.20

