

# RAPPORTI TECNICI INGV

Studio di fattibilità tecnico-scientifico  
per l'installazione di un profilometro  
per il monitoraggio delle deformazioni  
del fondo mare nel Golfo di Pozzuoli,  
Campi Flegrei



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

450

CUMAS

### **Direttore Responsabile**

Valeria DE PAOLA

### **Editorial Board**

Luigi CUCCI - Editor in Chief (luigi.cucci@ingv.it)  
Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)  
Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)  
Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)  
Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)  
Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)  
Mauro DI VITO (mauro.divito@ingv.it)  
Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)  
Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)  
Milena MORETTI (milena.moretti@ingv.it)  
Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)  
Umberto SCIACCA (umberto.sciacca@ingv.it)  
Alessandro SETTIMI (alessandro.settimi1@istruzione.it)  
Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)

### **Segreteria di Redazione**

Francesca DI STEFANO - Coordinatore  
Rossella CELI  
Robert MIGLIAZZA  
Barbara ANGIONI  
Massimiliano CASCONI  
Patrizia PANTANI  
Tel. +39 06 51860068  
redazione@ingv.it

**REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO**

© 2014 INGV Istituto Nazionale  
di Geofisica e Vulcanologia  
Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI  
Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



**ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA**

# RAPPORTI TECNICI INGV

Studio di fattibilità tecnico-scientifico per l'installazione di un profilometro per il monitoraggio delle deformazioni del fondo mare nel Golfo di Pozzuoli, Campi Flegrei

*A feasibility study on the use of a Digital Profile Gauge for monitoring the sea floor vertical deformations in the Gulf of Pozzuoli, Campi Flegrei caldera*

Sergio Guardato e Giovanni Iannaccone

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano

Accettato 14 marzo 2022 | Accepted 14 March 2022

Come citare | *How to cite* Guardato S., Iannaccone G., (2022). Studio di fattibilità tecnico-scientifico per l'installazione di un profilometro per il monitoraggio delle deformazioni del fondo mare nel Golfo di Pozzuoli, Campi Flegrei. Rapp. Tec. INGV, 450: 1-24, <https://doi.org/10.13127/rpt/450>

In copertina Probabili tracciati batimetrici per l'installazione del profilometro | *Bathymetric profiles for Digital Profile Gauge installation*

450



# INDICE

<b>Riassunto</b>	7
<i>Abstract</i>	7
<b>Introduzione</b>	8
<b>1. Deformazioni del suolo ai Campi Flegrei</b>	9
<b>2. L'infrastruttura marina MEDUSA</b>	10
<b>3. Profilometro: generalità</b>	11
<b>4. Profilometro: caratteristiche tecniche</b>	12
<b>5. Requisiti ambientali di installazione</b>	14
<b>6. Batimetria del Golfo di Pozzuoli</b>	15
<b>7. Misure di temperatura a fondo mare nel Golfo di Pozzuoli</b>	16
<b>8. Requisiti di installazione per l'integrazione con l'infrastruttura MEDUSA</b>	16
<b>9. Proposta dei possibili tracciati di installazione del profilometro</b>	18
<b>Ringraziamenti</b>	21
<b>Bibliografia</b>	21

*Contro ogni forma di odio, di razzismo, di guerra.  
Per la pace mondiale.  
Per sempre.*

## Riassunto

Questo rapporto tecnico descrive una strumentazione innovativa per la misura e il monitoraggio in continuo della componente verticale della deformazione del suolo a fondo mare, che verrà integrata con l'infrastruttura marina permanente MEDUSA presente nel Golfo di Pozzuoli, che rappresenta la parte sommersa della caldera dei Campi Flegrei. La strumentazione, denominata "Digital Profile Gauge" o profilometro, è stata concessa in comodato d'uso da ENI S.p.A. all'INGV, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano nell'ambito dell'accordo quadro esistente tra INGV ed ENI S.p.A. Il profilometro è fondamentalmente costituito da un circuito idraulico flessibile in cui sono inseriti dei sensori di pressione ad elevata sensibilità che misurano la differenza di pressione rispetto ad un punto di misura arbitrario usato come riferimento. Tale differenza è proporzionale allo spostamento verticale relativo tra i sensori stessi. Le caratteristiche del fluido presente nel circuito e la tipologia dei sensori di pressione, appositamente scelti per questo specifico impiego, consentono di effettuare misure con un'accuratezza sub-centimetrica. Il profilometro è costituito da 15 segmenti della lunghezza di 200 m ciascuno, assemblabili in uno o più allineamenti con lunghezza complessiva massima di 3 km e spaziatura di 100 m tra i sensori. Nel presente rapporto, dopo una descrizione della strumentazione e dei requisiti ambientali e tecnici di installazione, sono proposte alcune possibili configurazioni di installazione del profilometro. Sono riportati i criteri di scelta dei profili di monitoraggio, che tengono conto dei requisiti tecnici della strumentazione, tra cui quelli necessari per l'integrazione con l'infrastruttura marina permanente MEDUSA, della validità scientifica dell'installazione e del suo contributo al potenziamento del sistema di sorveglianza e monitoraggio dell'area di studio gestito dall'INGV, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano. Particolare attenzione è stata dedicata alla stima delle deformazioni verticali che possono essere misurate in accordo ai dati acquisiti negli ultimi anni (sia dalle reti di monitoraggio presenti a terra nell'area dei Campi Flegrei, sia per quella a mare con i dati derivanti da MEDUSA) e sulla base di un semplice modello descrittivo del campo di deformazione che ben si accorda ai dati rilevati.

## Abstract

*This report presents a feasibility study aimed to use an innovative instrumentation for the measurement and real-time monitoring of the vertical deformations of the sea floor, which will be integrated in the MEDUSA permanent marine infrastructure installed in the Gulf of Pozzuoli, the submerged part of the Campi Flegrei caldera. The instrumentation consists of a Digital Profile Gauge, which is currently owned by ENI S.p.A. (Italy) in the framework of the agreement between these and INGV. The digital profile gauge consists of a flexible hydraulic circuit containing several pressure sensors, which measure the difference in pressure between one of these and another one used as reference point. This difference is proportional to their relative vertical displacement. The characteristics of the fluid filling the circuit and the quality of the pressure sensors, allows measurements with a sub-centimetric accuracy. The digital profile gauge consists of 15 segments, 200 m long each, which can be arranged in one or more alignments for a total length of 3 km, with sensor spacing every 100 m. In the report a description of the instrumentation and the environmental and technical installation requirements are presented and some installation configurations are proposed. The criteria for choosing these configurations are described; they take into account the technical requirements of the instrumentation, including the constraints for the integration with the MEDUSA infrastructure, the scientific validity of the installation and its contribution to strengthening the surveillance and monitoring system of the study area, managed by the INGV, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano. An assessment of the vertical deformations*

that can be measured from the digital profile gauge was calculated using a simple descriptive model of the deformation field that is well suited to the data collected both from the monitoring networks present on land and by MEDUSA marine infrastructure.

Keywords Geodesia marina; Profilometro; Campi Flegrei | Seafloor geodesy; Digital profile gauge.

---

## Introduzione

Il sistema di monitoraggio geodetico dei Campi Flegrei, costituito da una fitta rete di stazioni geodetiche e gestito dalla Sezione INGV di Napoli - Osservatorio Vesuviano, consente di ottenere, per la parte emersa della caldera, una mappa accurata del campo di deformazione del suolo e di osservarne l'evoluzione spazio-temporale. Nel Golfo di Pozzuoli, che rappresenta la parte sommersa della caldera dei Campi Flegrei, invece, sono disponibili solo quattro punti di misura costituiti dalle boe (tipo meda elastica) dell'infrastruttura MEDUSA, dove, da aprile 2016, sono registrate in continuo le deformazioni verticali a fondo mare [De Martino et al., 2020]. L'infrastruttura MEDUSA è costituita da stazioni GPS posizionate sulla parte emersa delle boe che forniscono dati con precisione comparabile a quella delle stazioni a terra, contribuendo alla redazione dei Bollettini di sorveglianza e monitoraggio per il DPC. Inoltre, vengono sperimentate altre tecniche e metodologie di geodesia marina tramite l'installazione a fondo mare di ulteriori tipologie di sensori (come ad esempio sensori di pressione ad alta risoluzione e tiltmetri). Infine, allo scopo di estendere l'area monitorata a fondo mare, si sta valutando l'eventuale utilizzo di sensori acustici subacquei per misure distanziometriche di precisione a fondo mare, che comunque da prime analisi sembrano di difficile applicazione per quest'area.

Sulla base di una consolidata cooperazione tra INGV ed ENI S.p.A. e nell'ambito dell'accordo quadro esistente tra loro è stato concesso in comodato d'uso all'INGV, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano dal gruppo GEOM - Geodinamica e Monitoraggio Geofisico di ENI S.p.A., un'innovativa strumentazione per la misura dei movimenti verticali a fondo mare all'interno del Golfo di Pozzuoli. Questa strumentazione, denominata "Digital Profile Gauge" o *profilometro*, consente di misurare spostamenti verticali del fondo mare con la precisione del millimetro, lungo un profilo di lunghezza massima di 3 km, con punti di misura spaziatati ogni 100 m [Miandro et al., 2015].

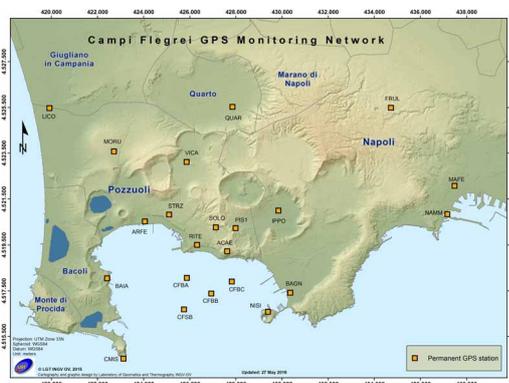
La possibilità di ottenere misure di deformazione del suolo in un'area estesa della porzione sommersa dei Campi Flegrei, unite a quelle provenienti dalle dense reti di monitoraggio sulla terraferma, fornirà ulteriori informazioni spazio-temporali certamente utili alla comprensione della dinamica evolutiva dell'area investigata a scala più ampia. Inoltre, l'utilizzo del profilometro può condurre allo sviluppo di ulteriori competenze scientifiche all'interno dell'INGV, oltreché favorire e validare una tecnica strumentale innovativa di interesse non solo per ENI, ed utilizzabile anche in altre aree sommerse. Considerando le prestazioni, in termini di sensibilità, accuratezza e precisione del profilometro, le misure ottenute contribuiranno a meglio definire un modello quantitativo, tridimensionale e dinamico (perché ripetuto nel tempo), del complesso sistema vulcanico dei Campi Flegrei. In tal modo se ne potrà monitorare lo stato e seguirne, grazie ad un'installazione di lungo termine, l'evoluzione temporale.

Scopo del presente rapporto è illustrare sinteticamente le fasi di studio necessarie per una valutazione della fattibilità tecnica, della validità e dell'interesse scientifico dell'installazione del profilometro, con la conseguente integrazione all'interno dell'infrastruttura marina permanente

di monitoraggio e ricerca multi-parametrica sperimentale già pienamente operativa, denominata MEDUSA. L'utilizzo di questa strumentazione potrà apportare rilevanti migliorie ai fini della sorveglianza dell'area dei Campi Flegrei per la misura delle deformazioni del suolo a fondo mare nel Golfo di Pozzuoli e del più ampio sistema di monitoraggio gestito dalla Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano.

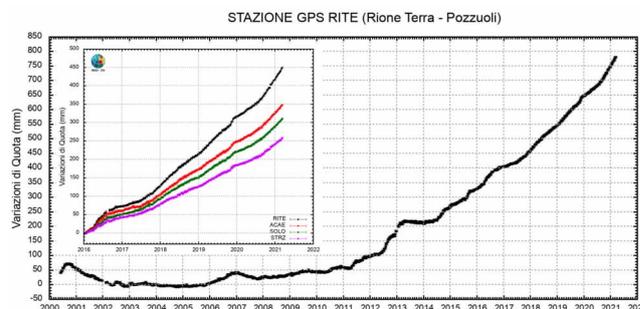
## 1. Deformazioni del suolo ai Campi Flegrei

La rete geodetica permanente per il monitoraggio dei Campi Flegrei è costituita da 25 stazioni GPS (Figura 1), incluse le quattro boe ubicate in mare e appartenenti all'infrastruttura MEDUSA [Bollettino di Sorveglianza Campi Flegrei, 2021], (cap. 2). A partire dalla fine del 2005, l'area è sottoposta ad un continuo sollevamento, come mostrato in Figura 2. La stazione GPS che storicamente misura il massimo valore del sollevamento è RITE, ubicata nel centro storico della città di Pozzuoli (Figura 1).



**Figura 1** Rete GPS permanente dei Campi Flegrei. Sono riportate anche le quattro boe di MEDUSA (CFBA-B-C e CFSB); le aree in blu rappresentano acque interne.  
**Figure 1** Permanent GPS network of the Campi Flegrei area. The four buoys of the MEDUSA infrastructure (CFBA-B-C e CFSB) are also reported; the blue areas represent internal waters.

Il sollevamento cumulativo del suolo misurato dal mese di Novembre 2005 al 31 marzo 2021 alla stazione GPS RITE ammonta a circa 75 cm [Bollettino mensile di sorveglianza, marzo 2021]. Nel riquadro interno della Figura 2 è riportato uno zoom dell'andamento del sollevamento registrato da questa stazione a partire da gennaio 2016, confrontato con le altre stazioni ubicate nella zona dove è stato misurato il massimo sollevamento.



**Figura 2** Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di RITE dal 2000 a marzo 2021.

Il riquadro interno mostra i dati delle stazioni di RITE, ACAE, SOLO e STRZ da gennaio 2016 a marzo 2021 (si veda la Figura 1 per l'ubicazione delle stazioni).

**Figure 2** Vertical displacement measured at GPS station RITE from the 2000 to March 2021. The inset shows the same parameter measured at RITE, ACAE, SOLO and STRZ GPS stations from January 2016 do March 2021 (the GPS station locations are reported in Figure 1).

La velocità media del sollevamento misurato alla stazione RITE a partire da settembre 2020 risulta essere di  $13 \pm 2$  mm/mese [Bollettino mensile di sorveglianza, marzo 2021].

Per lo studio delle deformazioni del suolo nell'area dei Campi Flegrei, oltre alla rete permanente GPS, vengono utilizzati i dati provenienti dalle reti mareografiche e tiltmetriche, nonché quelli acquisiti con tecniche di interferometria satellitare.

In prima approssimazione, soprattutto per episodi deformativi limitati temporalmente, il campo di deformazione può essere ben approssimato da una simmetria assiale con la sorgente di deformazione localizzata nel Golfo di Pozzuoli a qualche centinaio di metri a sud della stazione GPS RITE (Figura 1). Il campo deformativo a simmetria assiale risulta ben modellato da una variazione di pressione prodotta da una sfera di dimensioni trascurabili, posta ad una profondità di circa 3 km [Iannaccone et al., 2018].

Le misure di spostamento verticale ottenute con i ricevitori GPS installati sulle quattro boe di MEDUSA ben si correlano con questo tipo di andamento simmetrico.

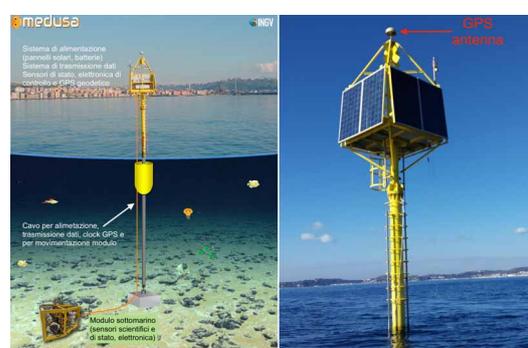
## 2. L'infrastruttura marina MEDUSA

Nel Golfo di Pozzuoli è operativa dalla primavera 2016 un'infrastruttura marina permanente di monitoraggio e ricerca sperimentale multi-parametrica denominata MEDUSA (*Multiparametric Elastic-beacon Devices and Underwater Sensors Acquisition system*, <http://portale.ov.ingv.it/medusa/>) costituita da quattro boe, di tipo meda elastica interamente a palo (CFBA e CFBC) e con cavo meccanico (CFBC e CFSB), ancorate (tramite zavorra) su un fondale la cui profondità varia da 39 a 96 m, ad una distanza compresa tra 1.1 e 2.4 km dalla linea di costa (Figura 1).

A ciascuna boa è collegato, tramite un cavo elettromeccanico, un modulo sottomarino strumentato, deposto sul fondale a pochi metri di distanza dalla zavorra della boa ed equipaggiato con strumentazione scientifica e di controllo di varia natura (Figura 3). In particolare, ciascun modulo ospita un sismometro a tre componenti e un sensore di pressione di alta precisione basato su tecnologia *DigiQuartz™* (Paroscientific). Sui fondali delle boe CFBA e CFBC sono presenti anche due sensori tiltmetrici di precisione (LILY, Jewell Instruments). Sulla torretta della boa è presente il sistema di alimentazione elettrica, di trasmissione dati e l'elettronica di controllo. In particolare, l'alimentazione è garantita da pannelli solari e da batterie tampone. La trasmissione dei dati è effettuata tramite apparati Wi-Fi a 5GHz e UMTS con trasmissione in tempo reale al Centro di Monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano di Napoli (Figura 3).

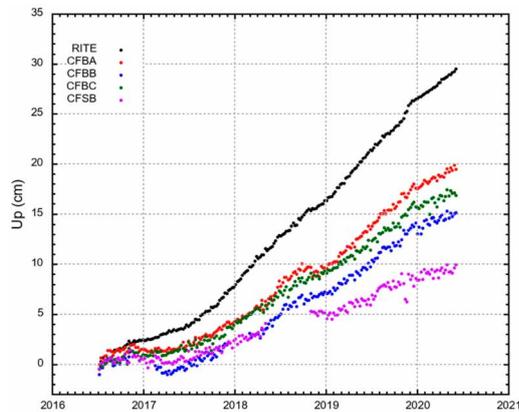
**Figura 3** Schema di allestimento di una delle boe dell'infrastruttura Medusa. Torretta di una boa con antenna GPS.

**Figure 3** Layout of the buoy system. Right panel shows the emerging part of the buoy with the GPS antenna.



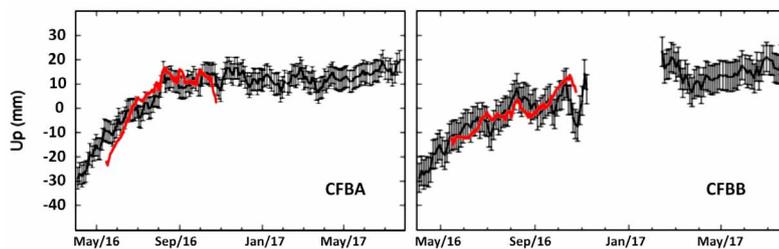
Su due delle quattro boe sono presenti anche una stazione meteorologica completa (attrezzata con sensori di temperatura, umidità, pressione atmosferica, direzione e velocità del vento) e telecamere di sorveglianza ambientale (fuori acqua e sottomarine). Infine, su ciascuna torretta è installato un ricevitore GPS geodetico per la misura dei movimenti del suolo a fondo mare.

I dati GPS, rappresentativi dei movimenti del suolo alla base di ciascuna boa, sono stati acquisiti a partire da aprile 2016 a tutt'oggi, con brevi interruzioni temporali dovute ad operazioni di manutenzione straordinaria. I dati relativi ai movimenti verticali, elaborati in modalità cinematica, risultano di precisione comparabile con quelli provenienti dalle stazioni ubicate a terra [Iannaccone et al, 2018]; la Figura 4 ne mostra un esempio per il periodo di acquisizione aprile 2016 – luglio 2020.



**Figura 4** Esempio di serie temporali (medie su una settimana calcolate per il periodo aprile 2016 – luglio 2020) delle componenti verticali dei GPS registrate alle quattro boe dell'infrastruttura MEDUSA (puntini colorati) confrontate con la stazione RITE (nero) posta sulla terraferma.  
*Figure 4* Vertical displacement (weekly average values) measured during April 2016 – July 2020 by the GPS station of RITE and of the four buoys of the MEDUSA infrastructure (see Figure 1).

Le deformazioni del suolo alla base delle boe sono state anche misurate tramite i sensori di pressione presenti sui moduli multi-parametrici a fondo mare; la Figura 5 ne riporta un esempio.



**Figura 5** Confronto tra misure di spostamento verticale ottenute dai sensori di pressione (linea rossa) siti nei moduli a fondo mare e GPS relative a due delle quattro boe del sistema MEDUSA.

*Figure 5* Comparison of vertical sea floor movements recorded by bottom pressure sensors (red line) with those recorded by GPS for two of the four buoys of the MEDUSA infrastructure.

### 3. Profilometro: generalità

Il profilometro è uno strumento che misura gli spostamenti verticali relativi, di uno o più punti, rispetto ad un riferimento. È costituito da un circuito idraulico flessibile, isolato rispetto all'ambiente esterno, a cui sono collegati dei sensori (trasduttori di pressione e temperatura) che misurano la pressione della colonna di fluido posto all'interno del circuito. Il fluido nel circuito idraulico è rappresentato da un particolare olio al silicone particolarmente idoneo a questo impiego grazie alla scarsa sensibilità alle variazioni di temperatura e stabilità delle proprietà chimico-fisiche nel tempo. La differenza di pressione tra due trasduttori è proporzionale al loro spostamento relativo lungo la verticale e consente, quindi, di misurare tale spostamento con estrema precisione.

Si tratta di uno strumento modulare costituito da segmenti accoppiabili tra loro, ognuno della lunghezza di 200 m, con un sensore posto ogni 100 m (3 sensori per ogni segmento). In

corrispondenza del sensore, due segmenti sono tra loro uniti tramite una giunzione in modo da costituire un unico strumento (Figura 6).

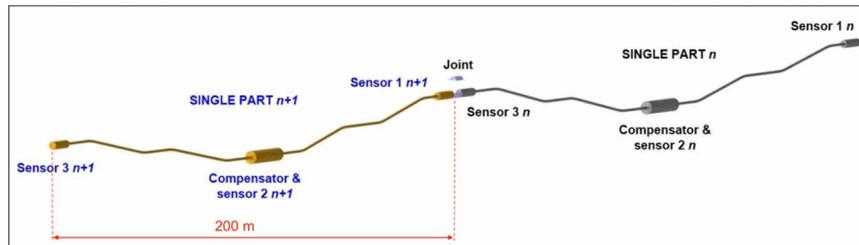


Figura 6 Rappresentazione schematica di due segmenti del profilometro uniti tramite giunzione subacquea.

Figure 6 Layout of two segments of the Digital Profile Gauge.

Sono stati realizzati 15 segmenti che è possibile assemblare in un unico sistema di misura della lunghezza totale massima di 3.000 metri con 31 punti di misura e 45 sensori di pressione, oppure in più segmenti distribuendo tra essi i 15 spezzoni. Il sistema di misura deve essere connesso tramite un cavo di risalita alla unità di acquisizione. È, inoltre, disponibile un ulteriore segmento considerato come ricambio.

Nella configurazione completa definitiva, l'intero sistema dovrà essere reso solidale con il fondale marino, tramite interrimento o ancoraggio, in maniera tale da rendere possibile effettuare misure di movimenti verticali lungo un profilo della lunghezza totale di 3.000 metri.

Il primo sensore viene considerato come riferimento (caposaldo) e le misure ottenute con i successivi sensori saranno relative a questo. È pertanto indispensabile avere misure di pressione indipendenti del primo sensore per ottenere dei movimenti verticali relativi ad un riferimento esterno all'area di installazione del profilometro; per la configurazione di installazione proposta quale integrazione ed estensione dell'infrastruttura marina di monitoraggio MEDUSA (vedasi capitoli seguenti), il riferimento sarà fornito dalla stazione GPS ubicata sulla boa che ospita il terminale dello strumento e il suo sistema di acquisizione dati.

## 4. Profilometro: caratteristiche tecniche

Di seguito è riportata una descrizione delle caratteristiche tecniche del profilometro.

All'interno di ogni segmento sono presenti i seguenti elementi elettro-meccanici:

- n. 4 linee elettriche per l'alimentazione dei sensori e la trasmissione dei dati;
- n. 3 coppie di sensori (pressione e temperatura);
- un compensatore meccanico/idraulico;
- la circuiteria idraulica di collegamento tra i vari sensori e tra i sensori e il compensatore;
- connettore stagno alle due estremità (per assemblaggio di base ed eventuale manutenzione).

Ogni segmento del profilometro è rivestito da una maglia in acciaio inox AISI-316L che ha il duplice scopo di proteggere meccanicamente sia il cavo elettrico, sia la tubazione idraulica inseriti al suo interno, e di isolare completamente questo ambiente da quello esterno. Il cavo elettrico è costituito da una serie di conduttori preposti alla distribuzione dell'alimentazione elettrica (tensione continua di circa 30V) a tutti gli apparati elettronici ed al collegamento della componentistica preposta alla trasmissione dei dati all'esterno, verso il sistema di acquisizione. I collegamenti tra i vari segmenti verranno realizzati durante il varo con giunti meccanici dedicati,

completi di connettori marini *wet-mateable* che permettono di effettuare eventuali disconnessioni/connessioni anche in acqua, facilitando, tra l'altro, l'eventuale sostituzione di un segmento in caso di guasto. Tuttavia, il guasto di un sensore non pregiudica il funzionamento dei restanti sensori, sia a monte che a valle dello stesso, dal momento che la comunicazione tra sensori e il sistema di acquisizione avviene mediante un *bus* di dati, ridondato per ragioni di sicurezza; anche le linee di alimentazione sono ridondate con una linea di riserva.

L'aggiunta di un nuovo spezzone all'ultimo segmento libero può essere effettuata in qualsiasi momento direttamente sul fondale. All'estremità opposta, quella più prossima alla boa dell'infrastruttura MEDUSA dove sarà allocato il sistema di acquisizione dati, è presente una tubazione analoga a quella che collega tutte le componenti del sistema (sensori e compensatori); essa contiene il cavo composito di cui sarà utilizzata solamente la parte elettrica (linee di alimentazione e scambio dati seriale su *bus*). Ciascun segmento è idraulicamente isolato da tutti gli altri.

Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche elettriche e meccaniche di un singolo segmento.

Uscita segnali (digitali)	RS-485 (Modbus)
Alimentazione	8...28 Vdc
Fondo scala (tipico)	1-3 bar
Frequenza di campionamento massima	400 Hz
Isolamento elettrico	10 MOhm / 50V
Temperatura di manutenzione/esercizio	-40...120 °C
Resistenza alla pressione	10 milioni di cicli di pressione 0...100 %FS @ 25°C
Resistenza alle vibrazioni	20 g (5...2000 Hz, ampiezza massima pari a $\pm 3$ mm), a norma IEC 68-2-6
Resistenza agli urti	20g (11 ms)
Conformità CE	EN 61000-6-1 a -6-4 / EN 61326-2-3

**Tabella 1** Caratteristiche elettro-meccaniche del profilometro.

**Table 1** Electro-mechanical characteristics of the Digital Profile Gauge

La sensibilità dello strumento (per misure relative) è pari a 0,1 mm. La componentistica costituente il profilometro e il suo assemblaggio sono stati realizzati considerando un periodo di funzionamento continuativo in acqua di mare pari ad almeno 10 anni.

All'interno di ogni sensore sono alloggiati il trasduttore di pressione, il sistema di connessione e distribuzione idraulica, il sistema di distribuzione dei vari conduttori elettrici e la componentistica elettronica che permette l'ottimizzazione della distribuzione delle alimentazioni e quella della trasmissione dei dati.

Il compensatore è costruito con gli stessi criteri e materiali del sensore e contiene anch'esso un trasduttore di pressione identico a quello dei sensori, configurandosi, quindi, come un ulteriore

punto di misura. Il compensatore contiene il sistema chiamato appunto “di compensazione”, che permette il funzionamento del sistema a circuito sigillato come se fosse un circuito aperto, compensando, quindi, la variazione di densità del fluido di misura. Esso è, sostanzialmente, un sistema cilindro-pistone precaricato a molla che mantiene il fluido nel circuito alla pressione prestabilita.

Le caratteristiche del trasduttore di pressione utilizzato per ogni sensore sono mostrate nella tabella che segue.

Produttore e modello	Keller, PA-30X
Intervallo di misura	0...5 bar
Temperatura operativa	10 - 40°C
Alimentazione	3.2 - 32 Vdc

Al centro di ogni singolo segmento del profilometro sono collocati un sensore (costituito da una coppia di trasduttori di pressione e temperatura) ed il compensatore (Figura 6). In successione al “cilindro del compensatore”, vi è il “distributore” con il trasduttore di pressione.

Il sistema di acquisizione dati del profilometro è configurato come un’unità con un’architettura hardware e software autonoma, progettato per essere installato su piattaforme, o infrastrutture simili, che abbiano disponibilità di energia elettrica con corrente alternata. L’unità memorizza i dati in una memoria locale e presenta parti hardware ridondanti, garantendo il funzionamento in continuo in caso di guasti elettronici.

Questa unità sarà oggetto di modifica per essere adeguata all’utilizzo e resa interfacciabile ai sistemi hardware presenti sulle boe dell’infrastruttura MEDUSA.

## 5. Requisiti ambientali di installazione

Per un corretto funzionamento del profilometro è necessario tener conto dei requisiti di installazione imposti dalla costruzione dello stesso. Questi sono di seguito elencati.

- accoppiamento con il fondale: il profilometro deve essere solidale al fondale marino, interrato per isolare il cavo dalle variazioni di temperatura dell’acqua che, come mostrato in Figura 8, presentano un’ampia escursione. Tale requisito torna estremamente utile anche per evitare di essere agganciata da parte di reti da pesca a strascico o di ancoraggio delle imbarcazioni;
- fondo scala dei singoli sensori di pressione del sistema pari a 3 bar: ciò significa che al massimo, con garanzia di ripetibilità della misura, è possibile misurare una differenza di quota tra due sensori qualsiasi dello stesso segmento pari a 30 metri;
- pendenza massima di 2 gradi per singolo spezzone: oltre questo valore di pendenza, corrispondente a circa 7 metri di dislivello tra il primo e il terzo sensore di ogni segmento, il sistema perde di precisione perché la loro linearità è garantita su un ristretto range di misure, rispetto all’intero intervallo di funzionamento;
- profondità massima di installazione: il profilometro è stato realizzato per una profondità operativa massima pari a 50 metri;
- variazione termica spaziale e temporale: una variazione termica repentina o localizzata produce effetti non controllabili sulla densità del fluido presente nel circuito idraulico con un conseguente errore nella misura. La misura della temperatura lungo lo strumento può

consentire la correzione di questo effetto con il post-processing dei dati. Pertanto è necessario prevedere l'installazione congiunta di un opportuno cavo (per esempio, basato su tecnologia ottica) con all'interno sensori di temperatura distribuiti lungo i tracciati di posa finale.

Per tali motivi, e per ragioni operative dipendenti dalle proprietà chimico-fisiche e meccaniche del fondale marino, è evidente che occorrerà procedere all'esecuzione di opportune indagini preliminari (*survey*) per verificare la batimetria e la natura del fondale lungo i tracciati di interrimento sottomarino definitivo sul fondale, per ciascuno dei due tratti del profilometro (vedasi paragrafo 9).

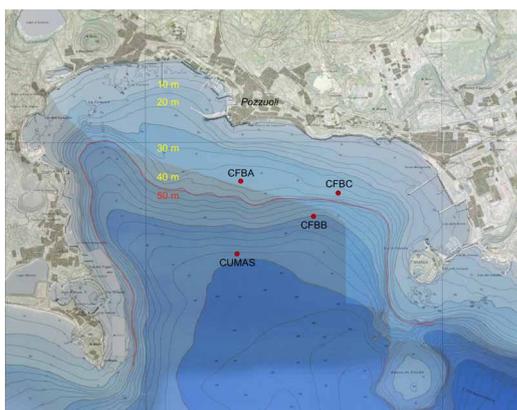
A tal fine, per il posizionamento del profilometro sono stati considerati i seguenti criteri che rispecchiano i requisiti della strumentazione, nonché di interesse per il monitoraggio dell'area:

- profondità di installazione pari o inferiore a 50 m;
- pendenza lungo il profilo di installazione inferiore a 2 gradi (per ogni segmento);
- posizione boe per connessione profilometro (quadro di controllo, alimentazione e trasmissione dati);
- posizione boe da considerarsi come riferimento esterno per i movimenti verticali (uso del ricevitore GPS geodetico);
- possibilità di ottenere misure significative di spostamenti verticali lungo il profilo di installazione;
- interesse scientifico per l'acquisizione di dati utili alla definizione della sorgente della deformazione.

Nei paragrafi successivi sono riportate le informazioni disponibili relative alla batimetria del fondale su cui verrà adagiato il profilometro e alle misure di temperatura, utili per una corretta installazione del profilometro stesso.

## 6. Batimetria del Golfo di Pozzuoli

Buona parte della caldera dei Campi Flegrei si estende a mare, ed il Golfo di Pozzuoli ne rappresenta la relativa parte sommersa. La Figura 7 riporta la batimetria dell'area: in particolare, per profondità inferiori a 50 m, si può osservare un'ampia area del fondale in corrispondenza della boa CFBA in cui è presente una sorta di *plateau* lungo una direttrice Ovest-Est. Tale area si trova immediatamente a largo di Pozzuoli dove si sono registrati i valori di massimo sollevamento del suolo sulla terraferma.

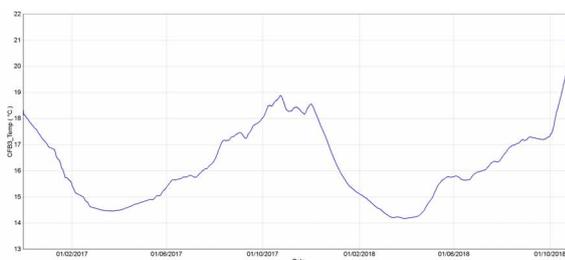


**Figura 7** Batimetria del Golfo di Pozzuoli. In colore rosso è evidenziata l'isobata di 50 m. I quattro punti rossi corrispondono all'ubicazione delle boe dell'infrastruttura MEDUSA.

*Figure 7* Bathymetric map of the Pozzuoli Gulf. Red line represents the 50 m isobath. The location of the four buoys of the MEDUSA infrastructure are indicated by the red dots.

## 7. Misure di temperatura a fondo mare nel Golfo di Pozzuoli

Le variazioni di temperatura lungo la colonna d'acqua seguono principalmente gli andamenti stagionali. Misure specifiche di temperatura dell'acqua in prossimità del fondo marino sono disponibili in corrispondenza della boa CFBC dell'infrastruttura MEDUSA, ad una profondità di 39 metri. La Figura 8 ne riporta la variazione per un periodo di circa 22 mesi (dicembre 2016-ottobre 2018).



**Figura 8** Temperatura dell'acqua misurata nel periodo dicembre 2016 – ottobre 2018 alla base della boa CFBC dell'infrastruttura MEDUSA (profondità 39 m).

*Figure 8* Sea water temperature measured close to the ballast of the C buoy (CFBC, see Figure 7) of the MEDUSA infrastructure at a depth of 39 m.

Analogamente, alla base della boa CUMAS (CFSB), ad una profondità di 96 metri, sono state fatte misure di temperatura, ma in modo episodico. I valori di temperatura, in questo caso, risultano assestati intorno ai  $14 \pm 1$  °C su dati disponibili per lunghi periodi temporali.

## 8. Requisiti di installazione per l'integrazione con l'infrastruttura MEDUSA

In questo paragrafo sono riportate alcune delle specifiche tecniche delle boe dell'infrastruttura MEDUSA e le prestazioni richieste al profilometro per la sua piena integrazione in essa.

Su ognuna delle boe, il sistema di alimentazione è costituito da due coppie di pannelli fotovoltaici a 24Vdc (potenza nominale complessiva di circa 1kW) collegate ad una coppia di regolatori di carica in tecnologia MPPT da 30/45A ciascuno. La presenza di otto batterie tampone a 12V/85Ah, opportunamente connesse tra loro, garantisce, ai sistemi attualmente presenti (sia fuori acqua che sul fondale marino), una continuità operativa h24 di circa dieci giorni, anche in assenza di sole. La strumentazione esistente comporta un carico di circa 30W continui per la boa A (CFBA) e di circa 35W per la boa C (CFBC).

La tensione di alimentazione resa disponibile da ogni boa è di 24V (in corrente continua) prelevabile da uno degli alloggiamenti presenti sulla torretta. L'ulteriore potenza massima indicativa resa disponibile dal sistema si assesta intorno ai 25-30W (h24), con il sistema di energizzazione attualmente presente. Tuttavia, sono previsti interventi di potenziamento delle parti fuori acqua delle boe che consentiranno di incrementare questa potenza disponibile sino a oltre 50W.

Il contenitore (quadro elettronico) del sistema di alimentazione ed acquisizione dati del profilometro andrà installato su una delle due di quattro pareti disponibili della struttura fuori acqua della boa. La parete è formata da una gabbia metallica in acciaio inox a maglia di 10x10cm con filo di spessore 8.0 mm. L'area disponibile è di circa 190 cm (orizzontale) per 160 cm

(verticale), con uno spazio sporgenza massimo di 45-50 cm di profondità. Il contenitore sarà fissato opportunamente su questa parete e dovrà possedere un grado di protezione IP-65 o superiore, con la presenza di pressacavi a tenuta, necessari per l'alimentazione (24V), a monte del sistema, e la comunicazione dati, che avviene tramite connessione Ethernet. Se non presente, è richiesta la marcatura dei dati acquisiti con sincronizzazione temporale GPS via interfaccia seriale RS-422.

Il modulo sottomarino di ciascun sistema è collegato, alla parte fuori acqua della relativa boa, mediante un cavo elettromeccanico presente in uno dei due tubi presenti sulla struttura metallica della boa e passanti per il relativo galleggiante di spinta (per la boa CFBC, i due tubi passacavi sono già impegnati a causa della presenza del tiltmetro installato sul fondale, oltre al modulo sottomarino multi-parametrico). Tale cavo si estende per tutto il palo della boa, partendo dal cestello fuori acqua, e scendendo sino a circa 40 metri di profondità, per poi proseguire, ancorato al fondale con un cavo metallico di appesantimento, verso il modulo sottomarino distante circa 15-20 m dalla zavorra alla base del palo della boa.

Per una corretta integrazione del profilometro con MEDUSA, il primo spezzone del profilometro (lato sistema di acquisizione, fuori acqua sulla boa) dovrà essere corredato da un cavo ombelicale per una lunghezza pari almeno a 50 m. Il tubo metallico passante, per i cavi di collegamento dalla parte fuori acqua della boa alla parte sul fondale, è in acciaio inox AISI-304, di lunghezza pari a 12.0 m con un diametro interno di 40 mm ed esterno di 48 mm. Il cavo del profilometro dovrà essere fascettato lungo la quasi intera lunghezza del palo, sino al fondale, per evitare attorcigliamenti sul palo e sul cavo elettromeccanico del modulo sottomarino. Il sistema di fissaggio del cavo del profilometro al palo dovrà essere indipendente da quello del cavo del modulo sottomarino, allo stesso palo, per consentirne il recupero nelle opere di manutenzione periodica ordinaria e straordinaria.

Il palo strutturale di ciascuna boa di MEDUSA è costituito da una serie di tubi (di lunghezza di 12 m ciascuno) in acciaio al carbonio di grado B, collegati tra loro mediante flange, del diametro esterno di 324 mm e dallo spessore di 12.7 mm.

Nella tabella seguente si riportano le specifiche tecniche e le caratteristiche richieste ad ENI per l'integrazione operativa del sistema profilometrico finale nell'infrastruttura MEDUSA.

Alimentazione	24Vdc (oppure 12Vdc, con convertitore DC-DC)
Consumo totale massimo	25-30W (h24), elevabile a 50W
Risoluzione	10 <sup>-5</sup> FSR
Accuratezza	0.002% FSR o superiore
Periodo di permanenza in acqua	Stimabile in 10-15 anni circa

È stato, altresì, indicato il requisito che i dati acquisiti dal sistema profilometrico siano marcati temporalmente con il GPS e disponibili, in una memoria di massa accessibile, sotto forma di file di testo orari, per ogni canale di acquisizione relativo a pressione e temperatura.

## 9. Proposta dei tracciati di installazione del profilometro

Al fine di proporre dei possibili tracciati lungo i quali installare il profilometro, in cui possano essere misurati significativi spostamenti del suolo a fondo mare, nella scelta della sorgente di deformazione si è optato per il modello di Mogi [Mogi, 1958]. In particolare, è stata considerata una sorgente di pressione puntiforme, localizzata come riportato nella Figura 9; essa mostra l'andamento spaziale della componente verticale, rappresentata in frazione del valore di massimo sollevamento (corrispondente al cerchio pieno verde in Figura 9), ed ubicato in corrispondenza della verticale della sorgente deformativa, ipotizzata a 3 km di profondità.

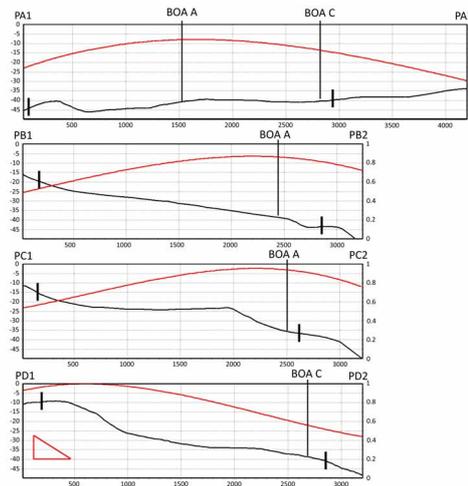
Per il posizionamento del profilometro sono stati proposti e valutati quattro possibili tracciati, riportati in Figura 9 e indicati con PA1 - PA2, PB1 - PB2, PC1 - PC2 e PD1 - PD2.



**Figura 9** Campo di deformazione verticale (linea tratteggiata verde) prodotto da una sorgente puntiforme posta a 3 km di profondità (modello di Mogi). Il cerchio pieno di colore verde rappresenta la proiezione in superficie della sorgente deformativa e corrisponde all'ipotizzata area di massimo sollevamento. I numeri riportati in verde rappresentano il valore di sollevamento come frazione del valore massimo calcolato. Le linee gialle rappresentano i quattro ipotetici tracciati lungo i quali posizionare il profilometro. La linea rossa indica l'isobata di 50 m. Sono anche indicate le boe dell'infrastruttura MEDUSA (A, B, C e CUMAS) e la stazione GPS RITE sulla terraferma.

*Figure 9 Vertical seafloor displacement field (dotted green lines) produced by a point source located at a depth of 3 km (Mogi model). The solid green circle represents the location of the point source corresponding to the maximum value of the vertical displacement. The green numbers indicate the value of the vertical displacement respect to the maximum one. Yellow lines represent the profile where could be installed the digital profile gauge. Isobath of 50 m is represented by the red line. The four buoys of the MEDUSA infrastructure are also reported (A, B, C and CUMAS).*

Nella Figura 10 sono riportati i profili batimetrici lungo le quattro tracce di colore giallo di Figura 9, unitamente alle posizioni delle boe. È inoltre riportato l'andamento del sollevamento (sulla base dei dati provenienti da MEDUSA) lungo ciascun profilo rappresentato in Figura 9. Questa rappresentazione consente di ipotizzare la misura "attesa" del movimento verticale del fondale di ciascun sensore del profilometro e di valutare la massima variazione lungo il profilo stesso.



**Figura 10** Profili batimetrici delle tracce riportate nella Figura 9 (curva nera) con i relativi valori (in metri) sono riportati a sinistra dei grafici. Gli estremi del profilometro sono identificati dai segmenti corti neri in corrispondenza del fondale. Le linee verticali lunghe indicano la posizione della boa lungo il profilo. Il triangolo rosso mostra, in scala rispetto ai profili batimetrici, la pendenza ideale di 2 gradi. La curva in colore rosso rappresenta il sollevamento del suolo lungo la traccia del profilo (Figura 9), considerando un modello di Mogi. Tale variazione è normalizzata rispetto al massimo valore riferito al cerchio verde di Figura 9; i corrispondenti valori sono riportati nella parte destra di ciascun pannello.

**Figure 10** Bathymetric profiles along the black lines shown in Figure 9. The corresponding depths (in m) are shown on the left side of each panel. The thick black vertical segments on these profiles represent the ends of the digital profile gauge. The thin black lines indicate the position of the buoy along the profile. The red triangle shows, in scale, the slope of 2 degrees. The red curve represents the sea floor uplift along the profile computed using the Mogi model (see Figure 9). This variation is normalized to the maximum referred to the green disk of Figure 9; the corresponding values are shown on the right side of each panel.

La tabella successiva riporta la variazione attesa del sollevamento in un anno lungo ciascuno dei quattro profili ipotetici, sia in percentuale rispetto al massimo sia della corrispondente variazione, assumendo come valore della velocità del sollevamento quella attualmente osservata in corrispondenza della stazione RITE (pari a 13 mm/mese) [Bollettino mensile di sorveglianza, marzo 2021].

Profilo	% max	mm/anno
PA1 - PA2	26	40
PB1 - PB2	40	62
PC1 - PC2	42	65
PD1 - PD2	45	70

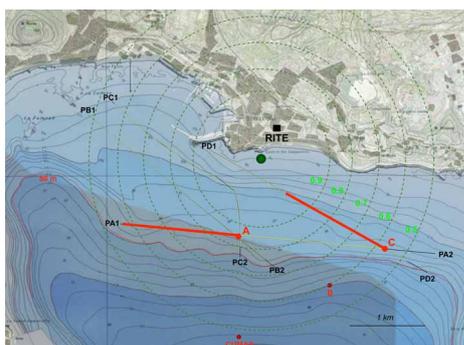
Di seguito sono riportate alcune considerazioni relative alla batimetria e alle deformazioni attese lungo i quattro profili ipotetici proposti nel precedente paragrafo (Figura 10).

**Profilo PA1 - PA2:** mostra una batimetria molto regolare; intercetta due boe di MEDUSA che potrebbero favorire l'installazione e la verifica delle misure effettuate; le deformazioni ipotizzate mostrano un andamento crescente, seguito da decrescita, per una escursione massima del 26%, corrispondente a circa 40 mm/anno. Il segmento occidentale del profilo ricade nel settore del Golfo di Pozzuoli attualmente non indagato da altre stazioni geodetiche.

**Profili PB1 - PB2 e PC1 - PC2:** tra loro simili in quanto ricadono nel settore occidentale del Golfo di Pozzuoli; tuttavia, il secondo profilo si differenzia rispetto al primo per un percorso curvilineo, inizialmente nella direzione dell'ipotetica area di massimo sollevamento, per poi curvare in direzione parallela al primo. Entrambi intercettano la boa A (CFBA) di MEDUSA, ed intersecano l'area di massimo sollevamento di cui potrebbero rilevarne il 40-42%, pari a circa 65-70 mm/anno.

**Profilo PD1 - PD2:** unico profilo che raggiunge l'area di massimo sollevamento in direzione quasi radiale rispetto al campo di deformazione ipotizzato. Intercetta la boa C (CFBC) di MEDUSA. Tra i vari profili proposti, potrebbe rilevare la variazione massima del sollevamento del 45%, pari a circa 70 mm/anno. Questo valore è comunque da riferirsi al segmento del profilo più prossimo alla boa C.

Nel corso di diverse riunioni scientifiche effettuate con colleghi dell'INGV, sono stati valutati i vantaggi/svantaggi dei quattro diversi tracciati proposti. Si è optato, in via preferenziale, per la configurazione preliminare riportata nella Figura 11, costituita da due diversi segmenti: lo spezzone orientale del profilo PD1 - PD2 e quello occidentale del profilo PA1 - PA2. In questa configurazione il profilometro sarà diviso in due strumenti indipendenti, ognuno di lunghezza di 1.500 m con un proprio cavo di risalita e relativo sistema di acquisizione, utilizzando le boe C e A di MEDUSA, anche come riferimento geodetico esterno (attraverso i ricevitori GPS geodetici presenti in cima alle rispettive boe).



**Figura 11** Come la Figura 9, ma qui sono indicati con linee rosse i due segmenti di installazione del profilometro.

*Figure 11* The two red lines show the proposed configuration of the digital profile gauge.

Questa configurazione a multi-segmento racchiude i vantaggi dei due suddetti profili, consentendo di indagare al meglio l'intero campo di deformazione presente nell'offshore di Pozzuoli, e sfrutta al massimo le caratteristiche (settore indagato, batimetria, direzione) di ciascun profilo. In particolare, come mostrato in Figura 11, il segmento connesso alla boa C di MEDUSA è in direzione radiale al campo di deformazione, in grado - pertanto - di rilevarne la massima variazione spaziale, pari a circa 55 mm/anno. Il segmento connesso alla boa A investe il settore opposto del campo di deformazione in un'area a tutt'oggi inesplorata.

In questo segmento potrebbero essere misurate variazioni di quota di circa 40 mm/anno. La reale e definitiva scelta dei tracciati lungo i quali posizionare il profilometro andrà, comunque, verificata anche sulla base di specifiche indagini batimetriche di dettaglio (rilievi batimetrici multi-beam ed ispezioni dirette tramite immersioni subacquee e con l'ausilio di ROV subacquei – *Remotely Operated Vehicle*), da cui sarà possibile evidenziare l'eventuale presenza di ostacoli morfologici sul fondale (rocce e oggetti antropici) nonché di aree caratterizzate da emissione di fluidi ad alta temperatura ed esaminare sommariamente la litologia del fondale stesso. Ai fini della fattibilità dell'opera sarà inoltre necessario richiedere, agli Enti preposti, le relative autorizzazioni e concessioni demaniali opportune.

Infine, occorre evidenziare che le sopraindicate proposte dei tracciati, e le conseguenti considerazioni, sono state effettuate considerando un modello di deformazione del suolo molto semplice anche se ben convalidato negli anni sulla base dei valori di deformazione misurati. È ovvio che future misure sperimentali potrebbero non accordarsi o contraddire tale modello deformativo applicato all'area, ma, proprio in virtù di queste considerazioni, esso costituirebbe comunque un risultato scientifico di estremo interesse, da cui ricavare utili informazioni sull'assetto geologico del Golfo di Pozzuoli, e più in generale sulle caratteristiche fisiche e geometriche del sistema vulcanico dei Campi Flegrei.

## Ringraziamenti

Si ringraziano i colleghi Elena Bellucci Sessa, della Sezione di Napoli dell'INGV per la collaborazione alla redazione delle figure dei profili batimetrici, e Danilo Cavallaro per la revisione del manoscritto.

## Bibliografia

- AA. VV., (2021). *Bollettino di Sorveglianza mensile dei Campi Flegrei*. A cura della Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano. <http://www.ov.ingv.it/ov/it/bollettini/275.html>
- De Martino P., Guardato S., Donnarumma G.P., Dolce M., Trombetti T., Chierici F., Macedonio G., Beranzoli L. and Iannaccone G., (2020). *Four Years of Continuous Seafloor Displacement Measurements in the Campi Flegrei Caldera*. *Front. Earth Sci.* 8:615178. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.615178>
- Iannaccone G., Guardato S., Donnarumma G.P., De Martino P., Dolce M., Macedonio G., Chierici F. and Beranzoli L., (2018). *Measurement of seafloor deformation in the marine sector of the Campi Flegrei caldera (Italy)*. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 123, 66–83. <https://doi.org/10.1002/2017JB014852>
- Miandro R., Dacome C., Mosconi A., and Roncari G., (2015). *Subsidence monitoring system for offshore applications: technology scouting and feasibility studies*. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 372, 323–330.
- Mogi K. (1958). *Relations between eruptions of various volcanoes and the deformations of the ground surfaces around them*. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 36, 99–134.
- Sito web dell'infrastruttura MEDUSA - <http://portale.ov.ingv.it/medusa/>

# QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html/>

I QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) accolgono lavori, sia in italiano che in inglese, che diano particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari che necessitano di rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. Per questo scopo la pubblicazione on-line è particolarmente utile e fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi. I QUADERNI DI GEOFISICA sono presenti in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics, e in "Open Access Journals" di Scopus.

QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) welcome contributions, in Italian and/or in English, with special emphasis on preliminary elaborations of data, measures, and observations that need rapid and widespread diffusion in the scientific community. The on-line publication is particularly useful for this purpose, and a multidisciplinary Editorial Board with an accurate peer-review process provides the quality standard for the publication of the manuscripts. QUADERNI DI GEOFISICA are present in "Emerging Sources Citation Index" of Clarivate Analytics, and in "Open Access Journals" of Scopus.

# RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html/>

I RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico come manuali, software, applicazioni ed innovazioni di strumentazioni, tecniche di raccolta dati di rilevante interesse tecnico-scientifico. I RAPPORTI TECNICI INGV sono pubblicati esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) publish technological contributions (in Italian and/or in English) such as manuals, software, applications and implementations of instruments, and techniques of data collection. RAPPORTI TECNICI INGV are published online to guarantee celerity of diffusion and a prompt access to published data. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

# MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

[http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html](http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html/)

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favorisce la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV. In particolare, MISCELLANEA INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc. La pubblicazione è esclusivamente on-line, completamente gratuita e garantisce tempi rapidi e grande diffusione sul web. L'Editorial Board INGV, grazie al suo carattere multidisciplinare, assicura i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi sottomessi.

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favours the publication of scientific contributions regarding the main activities carried out at INGV. In particular, MISCELLANEA INGV gathers reports of scientific projects, proceedings of meetings, manuals, relevant monographs, collections of articles etc. The journal is published online to guarantee celerity of diffusion on the internet. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

**Coordinamento editoriale**

Francesca DI STEFANO  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

**Progetto grafico**

Barbara ANGIONI  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

**Impaginazione**

Barbara ANGIONI  
Patrizia PANTANI  
Massimiliano CASCONI  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

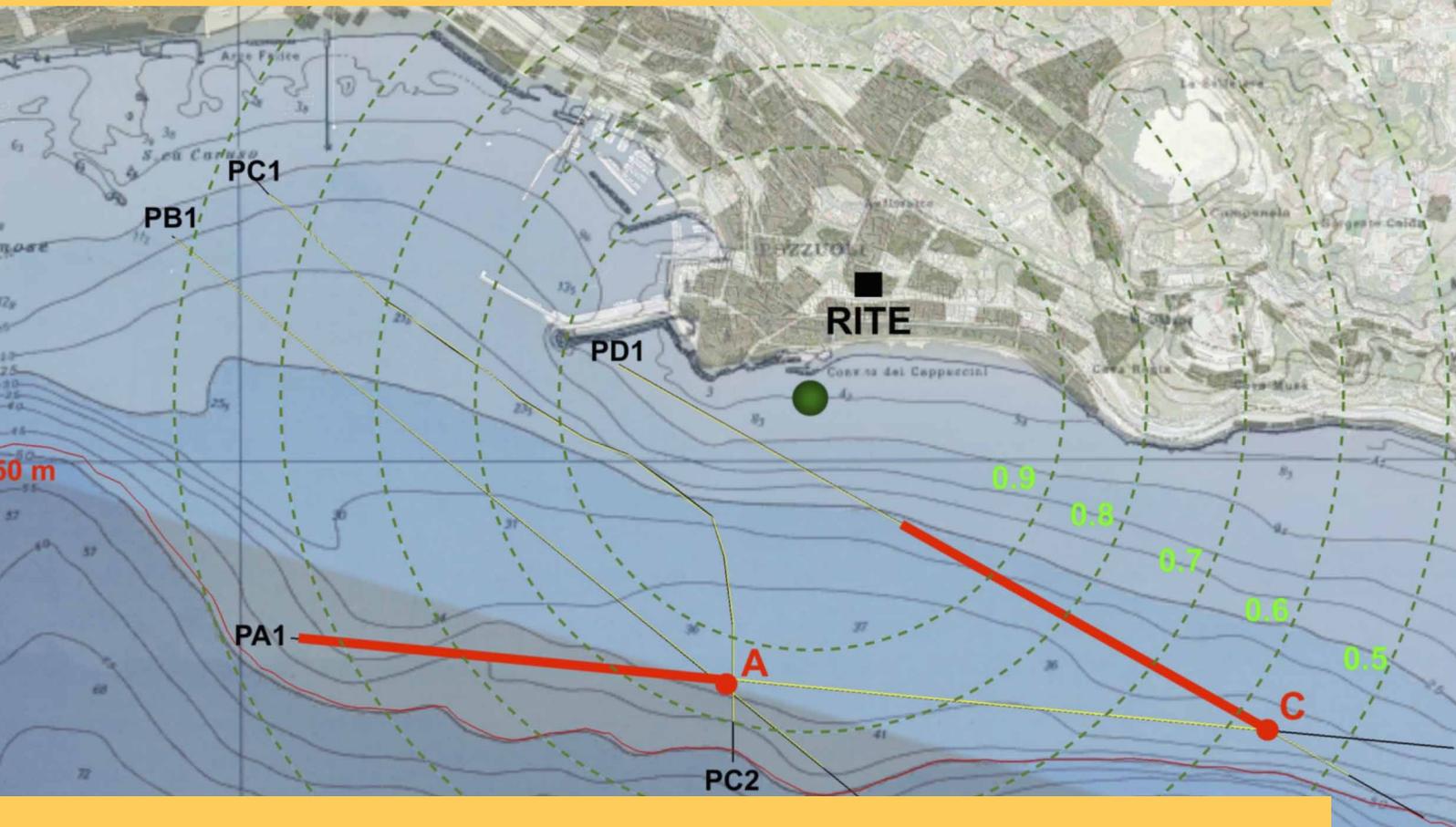
©2022

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Via di Vigna Murata, 605  
00143 Roma  
tel. +39 06518601

[www.ingv.it](http://www.ingv.it)



Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

