



HAL
open science

Prova del prototipo di Pandora presso il ghiacciaio del Tonale: la campagna

Ramiro Dell'Erba

► To cite this version:

Ramiro Dell'Erba. Prova del prototipo di Pandora presso il ghiacciaio del Tonale: la campagna. [Research Report] ENEA. 2009. <hal-01977286>

HAL Id: hal-01977286

<https://hal.science/hal-01977286v1>

Submitted on 10 Jan 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization



Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development

<http://www.enea.it/en>

<http://robotica.casaccia.enea.it/index.php?lang=en>

This paper is available on the Open Archives of ENEA

<http://openarchive.enea.it/>

PROVA DEL PROTOTIPO DI PANDORA PRESSO IL GHIACCIAIO DEL TONALE

LA CAMPAGNA

RAMIRO DELL'ERBA

ENEA - Dipartimento Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali
Centro Ricerche Casaccia, Roma

Prova del prototipo di Pandora presso il ghiacciaio del Tonale: la campagna

RAMIRO DELL'ERBA

ENEA - Unità Tecnico Scientifica FIM

Centro Ricerche Casaccia, Roma

RT/2007/FIM/



ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E L'AMBIENTE

Prova del prototipo di Pandora presso il ghiacciaio del Tonale: la campagna

RAMIRO DELL'ERBA

ENEA - Unità Tecnico Scientifica FIM

Centro Ricerche Casaccia, Roma

RT/2007/FIM/

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

Prova del prototipo di Pandora presso il ghiacciaio del Tonale: la campagna

Abstract

The aim of Microtecnologie for Hostile Environmental (MIAO) is to study the application of technologies and the development of miniaturized products; microscopic sensors for extreme environmental with optimized characteristics (lightness, weights, cost, reliability), and demonstration product to evaluate the obtained technology constitute the final product of the project.

ENEA is the leader of the project that is articulated on 5 workpackages working on different application; they previews researches and realizations on the industrial and biomedical diagnostic area and on autonomous vehicle.

The second line of Workpackage 1 previews the realization of a carrier called Pandora for the exploration of subglacial lakes in Antarctica. The scope is not the realization of the final prototype but the planning and the verification of the wire-guided robotic feasibility of a carrier able to penetrate the ice. Pandora is a robot of cylindrical shape and is able to melt the ice and to come down in vertical driven from the gravity force. The robot will be lost in the meaning that once that the ice is closed behind of it cannot more be recovered; however a cable is unrolled owing to transmit the data on the surface. In this relation we will expose some measures carried out on the ice of the Tonale for the first simplified version of the robot. The prototype has been tested two days on a layer of compact ice, after to have removed beyond two meters of snow by means of a snow cat. The robot is constituted by a torpedo with hemispheric head; the two hemispheres are separately heatable for being able the robot to steer.

Pandora has penetrated the ice, melted from the two hemispheres, for approximately a meter. The measures carried out, during the movement have been the speed of penetration in function of the distributed heating power, the temperature of the head of the robot and the surrounding ice. This last one in order to verify the compatibility of a developed theoretical model of distribution of the temperature based on the solution of the Fourier equation. Measures of inclination and tests of steering finally have been executed.

Key words: Robotic, Hostile environment, Antarctic.

Riassunto

Il progetto Microtecnologie per Ambienti Ostili (MIAO) si propone di studiare l'impiego di tecnologie e lo sviluppo di prodotti miniaturizzati; sensori attivi e passivi in scala microscopica per ambienti estremi e con caratteristiche ottimizzate (leggerezza, pesi, costo, affidabilità), insieme con dimostratori che consentano una valutazione della tecnologia ottenuta costituiscono il prodotto finale del progetto.

ENEA è a capo del progetto che si articola su 5 workpackages distinti per applicazione, i quali prevedono ricerche e realizzazioni nei settori della diagnostica ambientale terrestre e extraterrestre, della diagnostica industriale, della diagnostica bio-medica e nel settore dei veicoli autonomi e semi-autonomi e dei trasporti automatizzati.

La seconda linea del Workpackage 1 prevede la realizzazione di un carrier denominato Pandora per l'esplorazione dei laghi subglaciali in Antartide. Lo scopo non è la realizzazione del prototipo finale ma la progettazione e la verifica della fattibilità di un carrier robotico filoguidato capace di penetrare il ghiaccio.

Pandora è un robot di forma cilindrica ed è capace di fondere il ghiaccio e discendere in verticale guidato dalla forza di gravità. È a perdere, nel senso che una volta che il ghiaccio si è richiuso dietro di lui non può essere più recuperato; tuttavia un cavo si srotola allo scopo di trasmettere i dati in superficie. In questa relazione esporremo i risultati di alcune misure effettuate presso il ghiacciaio del Tonale per la prima versione semplificata del robot. Il prototipo è stato testato due giorni su uno strato di ghiaccio compatto, dopo aver rimosso oltre due metri di neve superficiale mediante un gatto delle nevi. Il robot è costituito da un siluro con testa emisferica divisa in due; le due emicalotte sono riscaldabili separatamente per poter effettuare delle prove di sterzata del robot. Pandora è stato fatto penetrare nel ghiaccio, sciolto dalle due emicalotte, per circa un metro. Le misure effettuate, durante la discesa sono state la velocità di penetrazione in funzione della potenza riscaldante erogata, la temperatura della testa del robot e del ghiaccio circostante. Quest'ultima allo scopo di verificare la compatibilità di un modello teorico sviluppato di distribuzione della temperatura basato sulla soluzione dell'equazione di Fourier. Misure di inclinazione e prove di sterzata sono infine state eseguite.

Parole chiave: Robotica, Ambienti ostili, Antartide

INDICE

1.	Premessa.....	7
2.	RIFERIMENTI	8
2.1.	Progetto	8
2.2.	Documenti di riferimento.....	8
3.	INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO	8
4.	RISORSE UMANE	10
4.1.	Pianificazione delle misure	10
4.2.	Personale Enea	10
4.3.	Personale CSM.....	10
4.4.	Personale di supporto	10
5.	RISORSE TECNICHE E STRUMENTALI.....	11
5.1.	Il sito di misura e la sua preparazione.....	11
5.2.	Il robot Pandora.....	12
5.3.	Le sonde per la misura della temperatura	12
5.4.	Misura di inclinazione.....	14
5.5.	Misura di profondità.....	14
5.6.	Misura della potenza erogata	14
5.7.	Misura di densità del ghiaccio	14
5.8.	Pandora al lavoro	15
6.	RISULTATI.....	16
6.1.	Misura della densità del ghiaccio.....	16
6.1.1.	<i>Misura della densità della benzina.....</i>	16
6.1.2.	<i>Calcolo della densità del ghiaccio tramite immersione in benzina.....</i>	16
6.1.3.	<i>Calcolo della densità del ghiaccio tramite immersione in acqua</i>	17
6.1.4.	<i>Stima dell'influenza dovuta alla presenza d'aria.....</i>	18
6.1.5.	<i>Conclusioni sulla stima della densità del ghiaccio</i>	18
6.2.	Acquisizioni del 30 maggio 2006 (1° giorno di misura). Disposizione del robot Pandora	19
6.3.	La velocità di penetrazione di pandora in funzione del tempo e della potenza applicata (1° giorno di misura)	20
6.4.	Andamento della temperatura della testa del veicolo in funzione del tempo e della potenza applicata.	21
6.5.	L'inclinazione lungo la direzione X ed Y in funzione del tempo, della potenza applicata alle semicalotte.	22
6.6.	La distribuzione della temperatura attorno al robot.....	22
6.6.1.	<i>La distribuzione della temperatura attorno al robot: cosa possiamo aspettarci?</i>	26
6.7.	Conclusioni del 30 maggio 2006 (1° giorno di misura).....	28
6.8.	Acquisizioni del 31 maggio 2006 (2° giorno di misura). Disposizione del robot Pandora	28
6.9.	La velocità di penetrazione di pandora in funzione del tempo e della potenza applicata (2° giorno di misura)	28

6.10.	Andamento della temperatura della testa del veicolo in funzione del tempo e della potenza applicata (2° giorno di misura).	30
6.11.	L'inclinazione lungo la direzione X ed Y in funzione del tempo, della potenza applicata alle semicalotte (2° giorno di misura).	30
6.12.	La distribuzione della temperatura attorno al robot (2° giorno di misura).	31
6.13.	Conclusioni del 31 maggio 2006 (2° giorno di misura).....	34
6.14.	Verifica dello stato finale di Pandora.....	34
7.	CONCLUSIONI E LAVORO FUTURO	36
8.	REFERENZE.....	37

Prova del prototipo di Pandora presso il ghiacciaio del Tonale: la campagna

1. Premessa

Il progetto Microtecnologie per Ambienti Ostili (MIAO) si propone di stimolare l'impiego di tecnologie e lo sviluppo di prodotti miniaturizzati; pertanto sensori attivi e passivi in scala microcopica per ambienti estremi e con caratteristiche ottimizzate (leggerezza, pesi, costo, affidabilità), insieme con dimostratori che consentano una valutazione della tecnologia ottenuta costituiscono il prodotto finale del progetto.

Ad esempio microsistemi per sensoristica, basati su microlaser, sistemi ottici miniaturizzati o sistemi multisensoriali distribuiti. Fra le applicazioni di spicco del progetto vi è la sensoristica in ambiente estremo, dedicata all'esplorazione planetaria, sottomarina, glaciale e subglaciale, nell'alta atmosfera, o in generale in ambiente ostile.

Per le tecnologie portate a maturazione nel corso del progetto si prevede la realizzazione dei sensori su scala micro e il loro test limitatamente ai carrier (veicoli sottomarini o veicoli autonomi volanti) disponibili da progetti collaterali (PNRA, ASI/ESA, programmi nazionali e di collaborazione internazionale), o nelle stazioni sperimentali degli end-user (impianti industriali, strutture sanitarie).

Il progetto si articola su 5 workpackages distinti per applicazione, che prevedono ricerche e realizzazioni nei settori della diagnostica ambientale terrestre e extraterrestre, della diagnostica industriale, della diagnostica bio-medica e nel settore dei veicoli autonomi e semi-autonomi e dei trasporti automatizzati.

La seconda linea del Workpackage 1 prevede la realizzazione di un carrier denominato Pandora per l'esplorazione dei laghi subglaciali.

2. RIFERIMENTI

2.1. Progetto

MIAO	Microtecnologie per Ambienti Ostili
WPI	Sensori sul territorio
Linea	Rapid protootyping
2	

Tabella 1 Il progetto.

2.2. Documenti di riferimento

<i>riferimento</i>	<i>descrizione</i>
<i>Il progetto di ricerca</i>	MINISTERO DELL'ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA Dipartimento per la Programmazione il Coordinamento e gli Affari Economici Servizio per lo sviluppo e il Potenziamento delle Attività di ricerca (SSPAR) PNR 2001-2003 (FIRB art.8) D.M. 199 Ric. del 8 marzo 2001 Anno 2001 - Protocollo: RBNE01BSXF

Tabella 2 Documenti di riferimento.


3. INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO

Pandora è un robot di forma cilindrica dedicato all'esplorazione dei laghi suglaciali sepolti all'interno dei ghiacci antartici. Esso è capace di fondere il ghiaccio e discendere in verticale guidato dalla forza di gravità. È un robot a perdere, nel senso che una volta che il ghiaccio si è richiuso dietro di lui non può essere più recuperato; tuttavia un cavo si srotola allo scopo di trasmettere i dati in superficie. Esso, nella sua versione più semplice, è dotato di una testa riscaldata elettricamente atta a fondere il ghiaccio; in realtà è molto più complicato in quanto il robot deve essere dotato di un sistema di riscaldamento supplementare laterale atto a fargli aggirare eventuali formazioni rocciose incontrate, nonché a ripulire il fronte di avanzamento da eventuali detriti e a non farlo rimanere incastrato dal ghiaccio che si riforma subito dopo il suo passaggio lungo il corpo cilindrico. In questa relazione esporremo i risultati di alcune misure effettuate presso il ghiacciaio del Tonale per la prima versione semplificata del robot. Il prototipo è stato testato due giorni su uno stato di ghiaccio compatto, dopo aver rimosso oltre due metri di neve superficiale mediante un gatto delle nevi. Il robot è costituito da un siluro

con testa emisferica divisa in due; le due emicalotte sono riscaldabili separatamente per poter effettuare delle prove di sterzata del robot. Pandora è stato fatto penetrare nel ghiaccio, sciolto dalle due emicalotte, per circa un metro. Le misure effettuate, durante la discesa, sono state le seguenti:

1. misura della velocità di discesa.
2. misura della potenza erogata alle emicalotte.
3. misura della temperatura della testa e di 8 punti nel ghiaccio circostante il robot.
4. Misura dell'inclinazione del robot rispetto al vettore di gravità

Lo scopo di tale test è di provare la fattibilità del prototipo ed il confronto con il modello teorico di distribuzione della temperatura basato sulla soluzione dell'equazione di Fourier.



4. RISORSE UMANE

4.1. Pianificazione delle misure

Sulla base delle specifiche tecniche richieste, nella fase precedente al rilievo, sono state pianificate le diverse fasi del lavoro e sono state avviate le richieste per l'ottenimento delle necessarie autorizzazioni da parte delle Autorità competenti ed il necessario supporto logistico da parte dei gestori dell'impianto sciistico del Tonale. . Le persone e gli enti contattati, insieme con i loro recapiti, sono elencati più avanti.

In particolare, nella fase preliminare si è provveduto ad effettuare sopralluoghi nelle aree di interesse al fine di identificare una base logistica adeguata ed seguire tutte le azioni necessarie al corretto svolgimento dei lavori. Si è proceduto, inoltre, a rilevare dalla cartografia ufficiale fornita tutte le informazioni necessarie alla progettazione e pianificazione del lavoro.

4.2. Personale Enea

Sulla base delle esigenze di progetto e tenendo conto delle procedure e delle metodologie usate, il personale impiegato per lo svolgimento del progetto in esame è stato il seguente:

Personale Enea	Nome	Titolo
1 x Responsabile progetto	R. Fantoni	Laurea in Chimica
1 x Tecnico Acquisizione Dati temperatura	F. Colao	Laurea in Fisica
1 x Tecnico Acquisizione Dati di densità	R. dell'Erba	Laurea in Fisica
1 x Tecnico Acquisizione Dati di Posizione	C. Moriconi	Laurea in Fisica
1 x Tecnico	G. Bonanno	Diploma
1 x Tecnico	C. Poggi	Diploma

4.3. Personale CSM

Personale CSM	Nome	Titolo
1 x Tecnico controllo robot	S. Lionetti	Laurea in Fisica

Tabella 3 Personale non ENEA.

4.4. Personale di supporto

Ai precedenti va aggiunto il personale marittimo dell'impianto sciistico del Tonale

5. RISORSE TECNICHE E STRUMENTALI

5.1. *Il sito di misura e la sua preparazione*

Il sito ove sono state compiute le misure è il ghiacciaio del Tonale, in provincia di Trento.



Figura 1 - Il ghiacciaio del Tonale.

Allo scopo di lavorare su una superficie di ghiaccio compatta, non nevosa e il più possibile simile a quella ideale cristallina un gatto delle nevi ha pulito il sito prescelto dalla neve depositata.



Figura 2 - Il gatto delle nevi prepara il terreno di lavoro.



Figura 3 – La superficie ove si è lavorato.

5.2. *Il robot Pandora*

Il prototipo del robot, realizzato dal CSM (Centro Sviluppo materiali S.p.A.) è lungo circa 100 centimetri ed ha un diametro di 10. Le due emicalotte sono di rame. Sono visibili i cavi di collegamento del robot e di trasmissione della potenza elettrica.



Figura 4 – Il robot Pandora

5.3. *Le sonde per la misura della temperatura*

La misura della temperatura del ghiaccio è stata eseguita ponendo opportune sonde a diverse profondità e a differenti distanze rispetto all'asse in cui è avvenuta la penetrazione del siluro. Sono state utilizzate in totale 8 differenti sonde di tipo K, ciascuna delle quali era alloggiata in una struttura tale da garantire la robustezza meccanica. All'estremità di ciascun ramo è stato utilizzato un cilindro cavo di rame (30 mm lunghezza, 10 mm diametro, 1mm spessore) che al suo interno custodiva la giunzione della termocoppia. Data la grande conducibilità termica del rame si è inteso garantire un adeguato scambio termico non solo nel punto di contatto della giunzione ma su tutto l'elemento di ghiaccio in contatto con il rame. Il cilindro di rame è all'altro estremo termicamente isolato grazie ad un supporto di legno (dia 8mm), ed infine il tutto è rivestito da una guaina termorestringente (vedi Figura 5).



Figura 5 – Sonde di temperatura- alloggiamento nella struttura che garantisce la robustezza meccanica e particolare della testa.

La misura di temperatura è stata eseguita con un voltmetro di precisione HP3852A che garantisce una precisione di $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ed una accuratezza di $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lo strumento è programmabile e tutte le operazioni di verifica comando e controllo sono state eseguite mediante interfaccia GPIB da un Personal Computer. Tra le impostazioni specifiche dell'HP3852A che meritano menzione citiamo solo quella di media, per cui risulta che ciascuna misura è mediata su un numero pari a circa 50 cicli della frequenza di rete così che la singola misura di temperatura richiede approssimativamente un tempo di 1s, mentre un intero ciclo su tutte le sonde impiega 10s. Questi dati sono compatibili con una misura senza errori sistematici per variazioni temporali non superiori a $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (pari all'accuratezza della misura) per ciclo di misura. Arrivati al sito di destinazione, ciascuna sonda è stata sistemata in un foro ricavato nel ghiaccio a profondità variabili tra 30 e 100 cm come illustrato in Figura. In Tabella 1 riportiamo la posizione nominale di ciascuna sonda in termini della distanza dall'asse del siluro d e della profondità cui è stato posto l'elemento sensibile. L'angolo azimuthale rispetto ad una direzione arbitraria non è stato misurato in quanto si ritiene che possa valere una simmetria cilindrica.

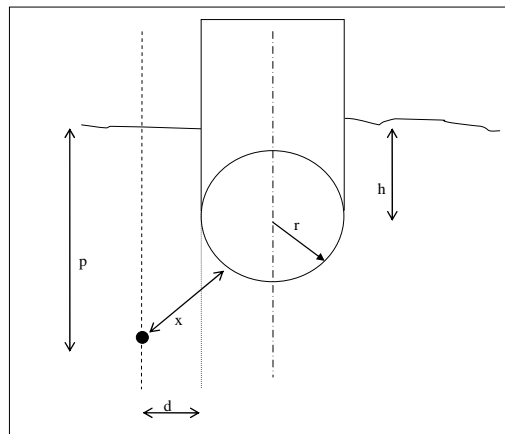


Figura 6 – Posizionamento relativo tra sonde e testa di misura –



Figura 7 – La tenda laboratorio

Le misure di temperatura sono state rilevate con un intervallo tra misure consecutive di 10 s (circa). Un datalogger è stato usato per l'acquisizione delle stesse.

5.4. *Misura di inclinazione*

Le misure di inclinazione mediante un inclinometro a 2 assi precisione 0.001 deg, accuratezza 0.01 deg, intervallo tra misure consecutive 2 s (circa).



Figura 8 – L'inclinometro

5.5. *Misura di profondità*

Le misure di profondità mediante asta graduata (metro) precisione 3mm, intervallo tra misure consecutive 60 s (circa).

5.6. *Misura della potenza erogata*

Le misure di potenza erogata mediante TA amperometrico; intervallo tra misure consecutive 10 s (circa).

Figura 9 – Il distributore dell'alimentazione di Pandora -



5.7. *Misura di densità del ghiaccio*

In questo paragrafo ci proponiamo di dare un'idea della densità del ghiaccio misurata presso il ghiacciaio Presena il 30 maggio 2006. Trattandosi di ghiaccio non perfettamente pulito serve solo come indicazione. Diverse misure della densità del ghiaccio sono state eseguite e confrontate. L'influenza della presenza di strati di aria all'interfaccia è stata stimata.

5.8. *Pandora al lavoro*

Di seguito alcune fotografie prese durante la discesa di Pandora all'interno del basamento ghiacciato.



Figura 10 – Posizionamento relativo tra Pandora e le sonde di misura -



Figura 11 – Pandora ancora in posizione di lavoro



Figura 12 – Pandora in posizione di lavoro



Figura 13 –Il campo operativo –

6. RISULTATI

6.1. Misura della densità del ghiaccio

6.1.1. Misura della densità della benzina

Abbiamo utilizzato un picnometro per liquidi, acqua benzina bilancia e beute graduate per diverse misure della densità del ghiaccio. Per prima cosa misuriamo la densità della benzina (in cui il ghiaccio affonda).

Misure eseguite	Simbolo	Valore	Dimensioni
Peso del picnometro	P_{pic}	14.9	gr
Errore sul peso del picnometro	ΔP_{pic}	0.05	gr
Peso picnometro pieno di benzina	P_{pb}	22.5	gr
Errore sul peso del picnometro pieno di benzina	ΔP_{pb}	0.05	gr
Volume picnometro	V_{pic}	10	cm ³
Errore sul volume del picnometro	ΔV_{pic}	0	cm ³

Tabella 4 Misura densità benzina.

Le formule usate sono le seguenti:

$$\rho_b = \frac{(P_{pb} - P_{pic})}{V_{pic}}$$

E per l'errore di misura

$$\Delta \rho_b = \text{Abs} \left[\partial_{P_{pb}} \rho_b * \Delta P_{pb} \right] + \text{Abs} \left[\partial_{P_{pic}} \rho_b * \Delta P_{pic} \right] + \text{Abs} \left[\partial_{V_{pic}} \rho_b * \Delta V_{pic} \right]$$

Per cui otteniamo i seguenti valori:

$$\rho_b = 0.76 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \pm 0.01 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

6.1.2. Calcolo della densità del ghiaccio tramite immersione in benzina

Abbiamo utilizzato un grosso cilindro graduato pieno di benzina e misurato come varia il volume della stessa immergendo un certo quantitativo di ghiaccio: Si noti che, a meno di bolle d'aria consistenti, nella benzina il ghiaccio affonda. Uno dei possibili errori sistematici nella misura è attribuibile alla non degassificazione della miscela; questo comporta il formarsi di bolle d'aria all'interfaccia ghiaccio liquido che portano a sottostimare la densità del ghiaccio.

Misure eseguite	Simbolo	Valore	Dimensioni
Peso del vaso	P_{vas}	257.5	gr
Errore sul peso del vaso	ΔP_{vas}	0.05	gr
Peso vaso con ghiaccio	P_{vg}	771.5	gr
Errore sul peso del vaso con ghiaccio	ΔP_{vg}	0.05	gr
Volume con benzina	V_{vb}	1710	cm ³
Errore sul volume vaso con benzina	ΔV_{vb}	25	cm ³
Volume con benzina e ghiaccio	V_{vbg}	2350	cm ³
Errore sul volume vaso con benzina e ghiaccio	ΔV_{vbg}	10	cm ³

Tabella 5 Misura densità ghiaccio 1° modo.

La formula che esprime la densità del ghiaccio è:

$$\rho_g = \frac{(P_{vg} - P_{vas})}{V_{vbg} - V_{vb}}$$

Ed il suo errore:

$$\Delta\rho_g = \text{Abs} [\partial_{P_{vg}} \rho_g * \Delta P_{vg}] + \text{Abs} [\partial_{P_{vas}} \rho_g * \Delta P_{vas}] + \text{Abs} [\partial_{V_{vbg}} \rho_g * \Delta V_{vbg}] + \text{Abs} [\partial_{V_{vb}} \rho_g * \Delta V_{vb}]$$

Per cui otteniamo:

$$\rho_g = 0.803125 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \pm 0.0440771 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

6.1.3. Calcolo della densità del ghiaccio tramite immersione in acqua

In quest'ultimo caso abbiamo utilizzato una beuta piena d'acqua, un volume fisso, ed abbiamo immerso il ghiaccio tramite un tappo. Si notavano numerose bolle d'aria.

Misure eseguite	Simbolo	Valore	Dimensioni
Peso della beuta piena d' acqua	P_{beu}	1803.1	gr
Errore sul peso della beuta piena d' acqua	ΔP_{beu}	0.05	gr
Peso del ghiaccio	P_g	501.4	gr
Errore sul peso del ghiaccio	ΔP_g	0.05	gr
Peso della beuta piena d' acqua con ghiaccio dentro	P_{bg}	1603.1	cm ³
Errore sul peso veso della beuta piena d' acqua con ghiaccio dentro	ΔP_{bg}	0.05	cm ³
Densità acqua	ρ_a	1.0	gr/cm ³
Errore sulla densità dell' acqua	$\Delta\rho_a$	0	gr/cm ³

Tabella 6 Misura densità ghiaccio 2° modo.

In questo caso

$$\rho_g = \frac{P_g}{(P_{beu} + P_g - P_{bg})} \rho_a$$

Con il suo errore

$$\Delta\rho_g = \text{Abs} [\partial_{P_{beu}} \rho_g * \Delta P_{beu}] + \text{Abs} [\partial_{P_g} \rho_g * \Delta P_g] + \text{Abs} [\partial_{P_{bg}} \rho_g * \Delta P_{bg}] + \text{Abs} [\partial_{\rho_a} \rho_g * \Delta\rho_a]$$

Per cui otteniamo:

$$\rho_g = 0.714856 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \pm 0.000122245 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

6.1.4. *Stima dell'influenza dovuta alla presenza d'aria.*

La differenza di risultati tra i due metodi è dovuta al fatto che nel secondo metodo vi sono numerose bolle d'aria che portano ad una sottostima della densità del ghiaccio. Infatti nella benzina le bolle d'aria, causa di differente tensione superficiale, svaniscono, almeno ad occhio.

Un valore di 0.80, contro un valore del ghiaccio puro di 0.91 porta ad un 10% di volume aria, compatibile con la letteratura (Rif. Antonioli).

Da sottolineare che le stime sono rozze e gli errori riportati sovrastimati dalle bolle d'aria che (non essendo in laboratorio) non è stato possibile eliminare. Si è cercato di usare ghiaccio puro ma era comunque un po' sporco; altra forma di errore, che va però in direzione opposta e che se vi è del terreno (silice?) esso ha densità circa 2,6 che quindi tende a sovrastimare la densità del ghiaccio.

A titolo di esercizio effettuiamo una rozza stima di quanto pesi l'influenza dell'aria sul risultato finale. Supponiamo uno strato d'aria spesso 1mm uniformemente distribuito su di un cubo il cui lato sia tale che il peso del cubo eguagli il peso del ghiaccio. Questo comporta un aumento di volume fittizio di una certa percentuale che si riflette linearmente in una sottostima della densità della stessa percentuale. Ovvero se il peso del ghiaccio è:

$$P_g = 501.4$$

Il lato del cubo corrispondente vale

$$l = \sqrt[3]{P_g * 0.9}$$

$$V_c = l^3$$

Abbiamo stimato la densità del ghiaccio 0.9 (valore standard). Se vi aggiungo uno strato di 1mm di aria avrà volume l_n cubo, pari ad una certa percentuale in più.

$$l_n = l + 0.1$$

$$V_{cn} = l_n^3$$

Sostituendo i valori numerici abbiamo un errore percentuale sul volume, e quindi sulla densità che viene sottostimata, del 3.8%. Se lo strato d'aria ha spessore due millimetri l'errore sale al 7.8%!!

$$100 * V_c / V_{cn} - 100$$

Dove V_{cn} è il volume del cubo precedente (V_c) più lo strato d'aria.

In realtà la situazione è peggiore poiché la superficie è più ampia di quella cubica, essendo il ghiaccio frammentato!! Supponiamo di avere 10 cubi di lato l .

$$l = \sqrt[3]{P_g * 0.9 / 10}$$

E nel caso di spessore dello strato d'aria di due millimetri l'errore è dell'8%.

6.1.5. *Conclusioni sulla stima della densità del ghiaccio*

Un valore di 0.80, contro un valore del ghiaccio puro di 0.91 porta ad un 10% di volume aria in volume, compatibile con la letteratura (Rif. Antonioli). Tenendo conto dell'influenza

dell'aria i due valori misurati in due modi diversi sono compatibili. Ricordo, però che il loro valore è puramente indicativo e relazionato al posto prescelto. I due valori sono:

$$\rho_g = 0.803125 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \pm 0.0440771 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\rho_g = 0.714856 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \pm 0.000122245 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Ma per quest'ultimo bisogna aggiungere un errore (sottostima) di qualche punto percentuale (da 4 a 8) a causa dell'aria sulla superficie.

6.2. Acquisizioni del 30 maggio 2006 (1° giorno di misura). Disposizione del robot Pandora

La posizione delle sonde, durante il primo dei due giorni di misura, è data nella seguente tabella. Nella tabella successiva viene esposto un esempio dei dati raccolti in funzione del tempo. Con questi dati esamineremo di seguito:

- 1) La velocità di penetrazione di Pandora in funzione del tempo e della potenza applicata.
- 2) L'andamento della temperatura della testa del veicolo sempre in funzione del tempo e della potenza applicata.
- 3) L'inclinazione lungo la direzione X ed Y in funzione del tempo, della potenza applicata alle semicalotte.
- 4) La distribuzione della temperatura attorno al robot.

La posizione delle sonde di temperatura, come da fotografie, è la seguente:

Nome della Sonda	Distanza asse sonda (cm)	Profondità (cm)
Sonda0	10	22
Sonda1	20	56
Sonda2	6	21
Sonda3	20	62
Sonda4	57	55
Sonda5	21	34
Sonda6	10	27.5
Sonda7	30	54
SondaTesta	0	0

Tabella 7 Posizioni delle sonde di temperatura 30 maggio.

I dati misurati sono posti in una tabella del tipo seguente (parziale); da notare i tempi diversi .

Time [hh-m Time [orari Time [MsetPotenza [k[Sonda_0 [°Sonda_1 [°Sonda_2 [°Sonda_3 [°Sonda_4 [°Sonda_5 [°Sonda_6 [°Sonda_7 [°Sonda_testAsse X	Asse Y	Time [hh-m Time [orari Time [MsetDepth [cm]
11.07.52 0.463796 3.36E+09 0 4.07031 2.16699 5.83594 3.87109 6.2832 4.93359 4.95606 4.66016 0 -7.958 7.66 12.48.00 0.533333 3.36E+09	0	0
11.08.13 0.464039 3.36E+09 0 3.93262 2.06934 5.63184 3.71289 6.05664 4.70019 4.70996 4.4707 0 -7.958 7.66 12.55.00 0.538194 3.36E+09	8	8
11.08.24 0.464167 3.36E+09 0 3.69629 1.92969 5.45215 3.53906 5.88574 4.54102 4.45019 4.30176 0 -7.959 7.658 12.56.00 0.538889 3.36E+09	10	10
11.08.35 0.464294 3.36E+09 0 3.59375 1.81055 5.3457 3.39941 5.78027 4.43262 4.33789 4.23438 0 -5.242 -6.201 12.58.00 0.540278 3.36E+09	11	11
11.08.45 0.46441 3.36E+09 0 3.58398 1.81152 5.29883 3.39648 5.75488 4.40332 4.35156 4.28613 0 7.824 -8.413 12.59.00 0.540972 3.36E+09	12	12
11.08.56 0.464537 3.36E+09 0 3.5957 1.83496 5.26172 3.36621 5.74023 4.38672 4.33398 4.18945 0 4.1 -5.984 13.00.00 0.541667 3.36E+09	13	13
11.09.07 0.464664 3.36E+09 0 3.45996 1.73438 5.09277 3.23731 5.625 4.2168 4.14551 4.11816 0 -1.313 -4.124 13.00.30 0.542014 3.36E+09	14	14
11.09.17 0.46478 3.36E+09 0 3.35938 1.63477 4.92969 3.10742 5.46289 4.125 3.93652 3.87988 0 0.76 -4.312 13.01.00 0.542361 3.36E+09	14.4	14.4
11.09.28 0.464907 3.36E+09 0 3.08398 1.41016 4.67188 2.85449 5.23633 3.91016 3.62793 3.6416 0 0.68 -2.245 13.02.00 0.543056 3.36E+09	16	16
11.09.39 0.465035 3.36E+09 0 2.99805 1.35644 4.57031 2.78418 5.13281 3.87207 3.51172 3.5625 0 -0.189 -1.882 13.03.00 0.54375 3.36E+09	16.8	16.8
11.09.49 0.46515 3.36E+09 0 3.02246 1.39356 4.51074 2.81836 5.08008 3.96289 3.61035 3.62598 0 -0.578 -0.966 13.04.00 0.544444 3.36E+09	18	18
11.10.00 0.465278 3.36E+09 0 3.11035 1.46094 4.58887 2.91113 5.17481 4.04785 3.69434 3.68945 0 2.098 -6.061 13.05.00 0.545139 3.36E+09	18.5	18.5
11.10.10 0.465394 3.36E+09 0 3.17285 1.53027 4.68262 2.98828 5.2666 4.11523 3.86231 3.81641 0 -7.959 -8.411 13.06.00 0.545833 3.36E+09	19.5	19.5
11.10.21 0.465521 3.36E+09 0 3.31836 1.6875 4.88574 3.18555 5.46094 4.26856 4.12695 4.05566 0 3.078 -7.544 13.07.00 0.546528 3.36E+09	20.5	20.5
11.10.32 0.465648 3.36E+09 0 3.53906 1.92481 5.125 3.43066 5.68945 4.54394 4.46875 4.34766 0 2.695 -2.375 13.08.00 0.547222 3.36E+09	22	22
11.10.42 0.465764 3.36E+09 0 4.37012 2.58691 5.94336 4.32519 6.44336 5.83008 5.91992 5.48731 0 -4.701 -0.722 13.09.00 0.547917 3.36E+09	23	23
11.10.53 0.465891 3.36E+09 0 5.63477 3.49805 7.18066 5.47461 7.51953 7.04492 7.35644 6.66797 0 -7.958 -8.412 13.10.00 0.548611 3.36E+09	24.5	24.5
11.11.04 0.466019 3.36E+09 0 6.43359 4.16797 8.21875 6.34277 8.35645 7.6875 8.14258 7.39844 0 -7.958 -8.411 13.11.00 0.549306 3.36E+09	26	26
11.11.14 0.466134 3.36E+09 0 6.14453 4.00781 8.08984 6.1084 8.2832 7.22363 7.48731 6.97852 0 -7.959 -8.411 13.12.00 0.55 3.36E+09	27	27

Tabella 8 Esempio di tabella dati

6.3. *La velocità di penetrazione di pandora in funzione del tempo e della potenza applicata (1° giorno di misura)*

I grafici della potenza erogata in funzione del tempo e dello spazio percorso lungo l'asse z da Pandora sono mostrati di seguito.

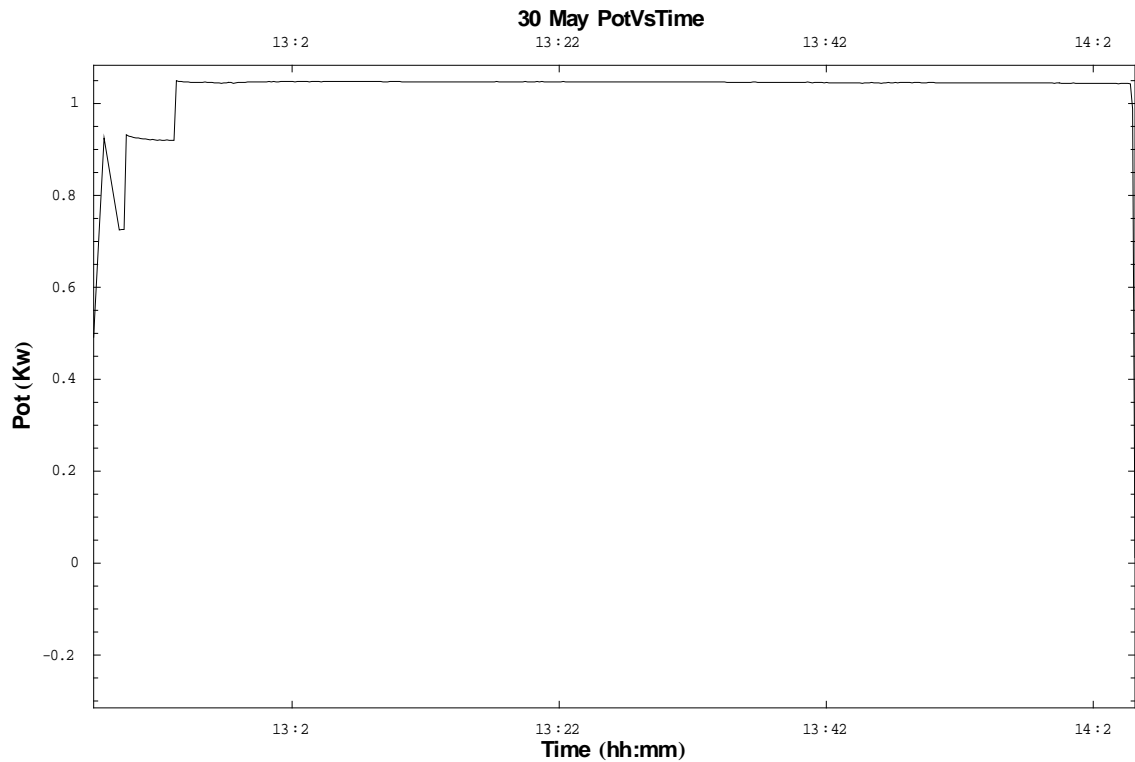


Figura 14 –La potenza erogata alla sonda in funzione del tempo il 30 maggio

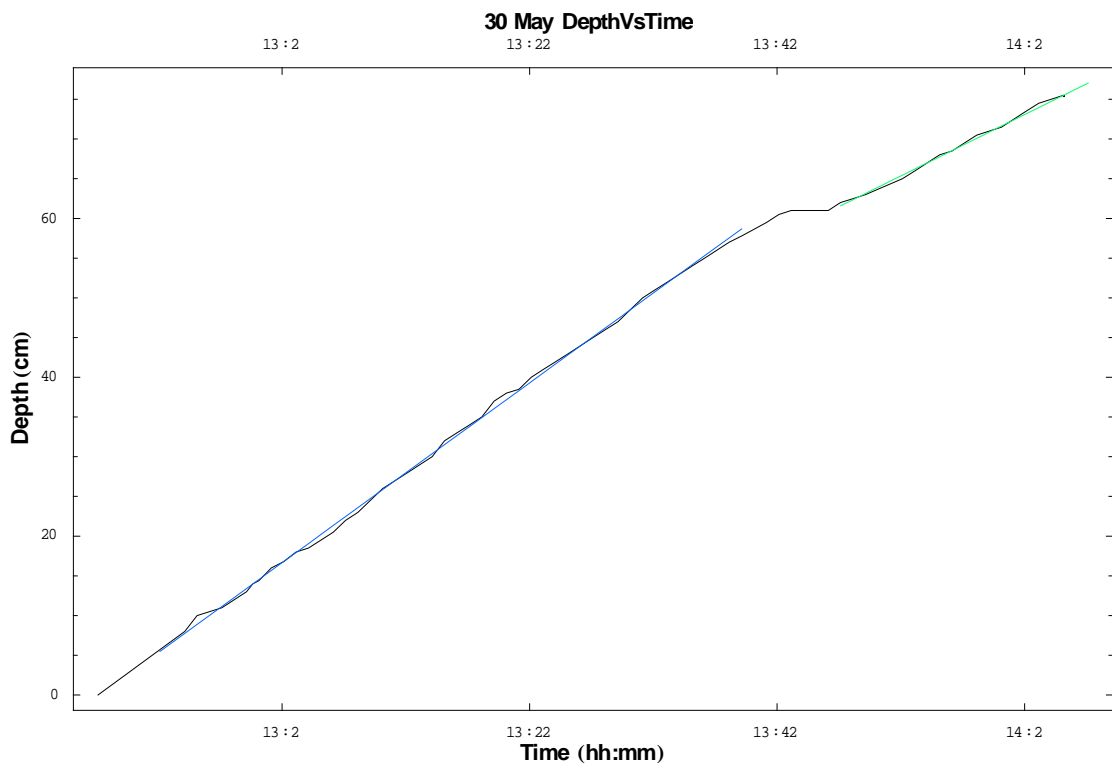


Figura 15 –La velocità di discesa in funzione del tempo il 30 maggio

Possiamo osservare:

- 1) La potenza applicata è circa costante e massima per tutto il periodo osservato
- 2) La velocità è anch'essa costante. Tuttavia alle 13 e 45 circa Pandora incontra un sasso e si ferma. Dopo la rimozione dello stesso la velocità di Pandora è diminuita.

Calcoliamo le due velocità di penetrazione nel ghiaccio.

La prima velocità di discesa è:

$$67.92 \text{ (cm/hr)} \pm 0.28 \text{ (cm/hr)}$$

La seconda velocità di discesa è:

$$46.37 \text{ (cm/hr)} \pm 0.07 \text{ (cm/hr)}$$

Da notare che la velocità di discesa è costante, tuttavia, dopo l'incontro con il sasso, vi è un calo di circa il 30% della velocità di discesa forse a causa della maggiore compattezza del ghiaccio più profondo o, più probabilmente, alla presenza di granuli di roccia sotto il sasso.

6.4. *Andamento della temperatura della testa del veicolo in funzione del tempo e della potenza applicata.*

Il grafico della temperatura misurata alla testa di Pandora in funzione del tempo (quello della potenza erogata è lo stesso del paragrafo precedente) è il seguente:

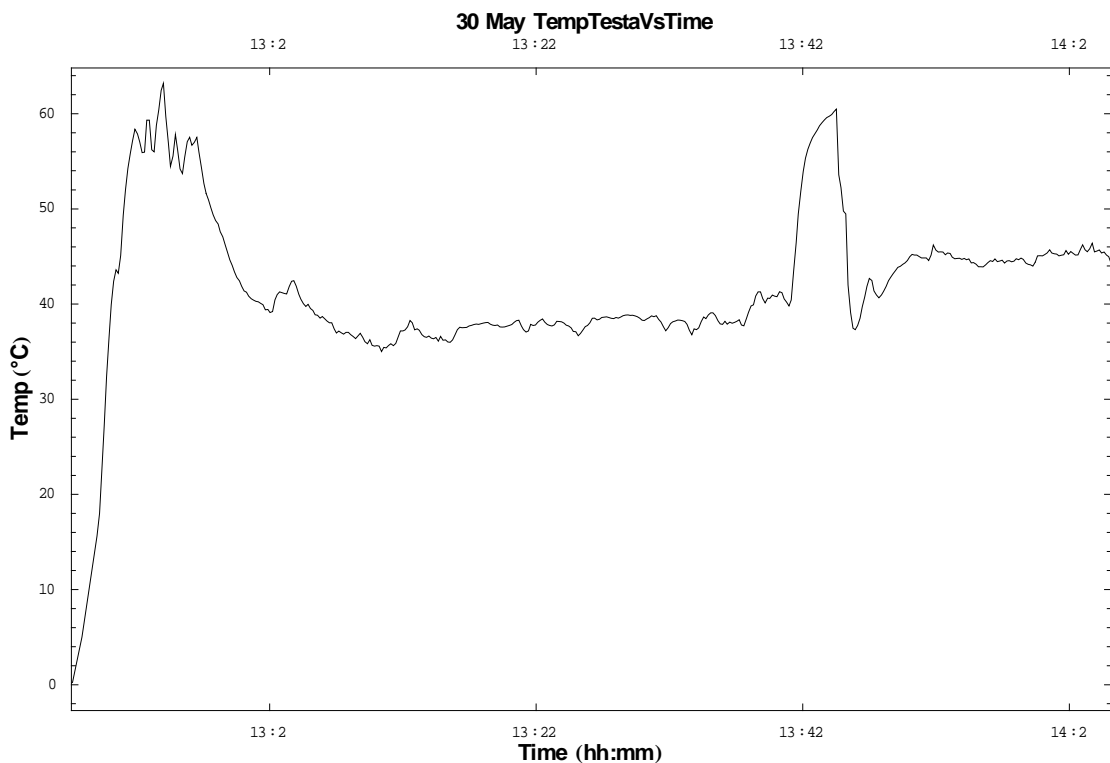


Figura 16 –La temperatura misurata sulla testa in funzione del tempo il 31 maggio

Possiamo osservare:

- 1) La temperatura della testa ha un innalzamento iniziale fino a circa 60°C e poi si stabilizza a circa 40°C anche se con una leggera tendenza a salire.
- 2) Quando Pandora incontra il sasso la temperatura sale. E' proprio da questo dato che ce ne siamo accorti!!). Successivamente prosegue come prima.
- 3) Non credo valga la pena di calcolare la velocità di salita della temperatura poiché l'intervallo temporale è insufficiente per stabilire se effettivamente sale.

E' noto che durante una transizione di fase, la temperatura rimane costante alla temperatura a cui avviene la transizione. Tuttavia a causa della finita conduttività termica dei materiali, e delle impurità possono verificarsi localmente dei surriscaldamenti (o sottoraffreddamenti); inoltre bisogna tenere presente che misuriamo la temperatura sulla testa di Pandora e non nell'acqua appena sciolta che è a 0°C.

6.5. *L'inclinazione lungo la direzione X ed Y in funzione del tempo, della potenza applicata alle semicalotte.*

Il primo giorno non è stato possibile misurare gli angoli di inclinazione del robot per problemi di interferenza tra le apparecchiature. La testa è stata comunque sempre riscaldata uniformemente ed il robot sembra scendere perpendicolare.

6.6. *La distribuzione della temperatura attorno al robot.*

Lo scopo di questo paragrafo è analizzare l'andamento della temperatura nel ghiaccio attorno a Pandora e paragonare le curve misurate con l'andamento teorico aspettato. Tuttavia l'errore di posizionamento delle sonde e le condizioni non da laboratorio rendono molto arduo questo compito.

La testa è stata accesa alle 12 e 41. Dalle 11 e 17 alle 12 e 27 non vi è stata acquisizione dei dati. Di seguito riportiamo l'andamento della temperatura in funzione del tempo per le 8 termocoppie.

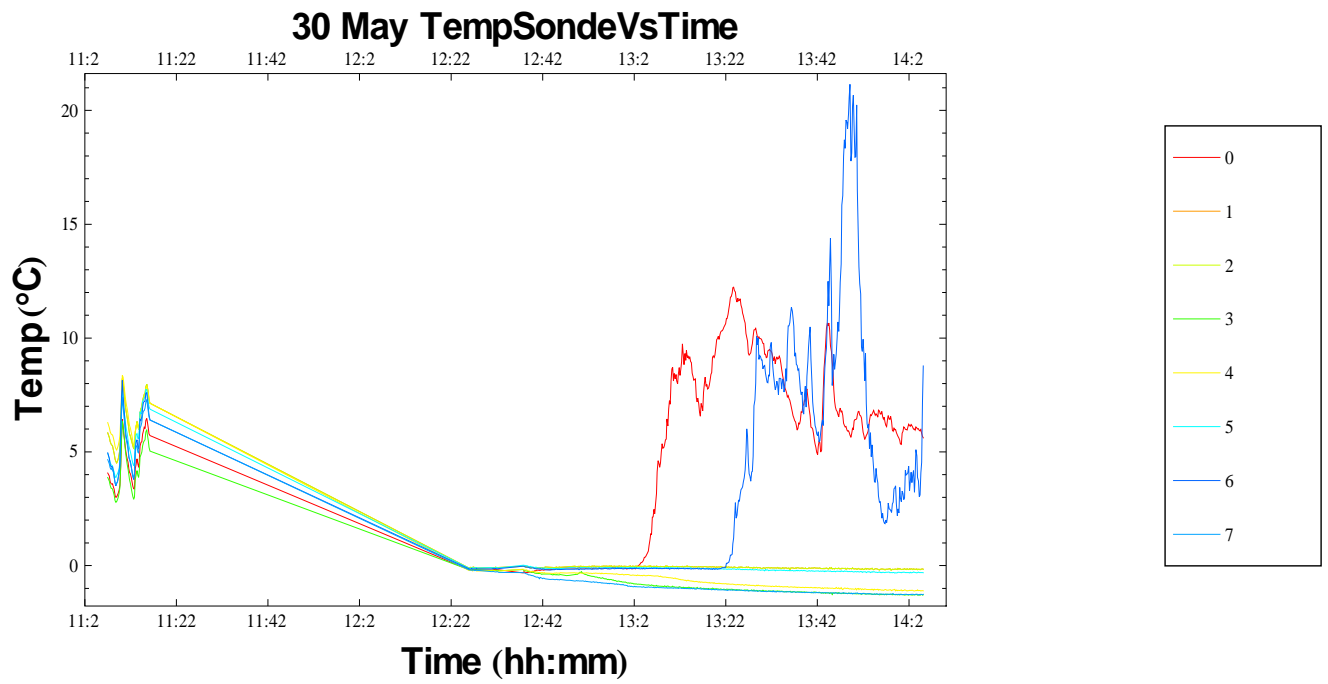


Figura 17 –La temperatura misurata dalle otto termocoppie in funzione del tempo il 30 maggio

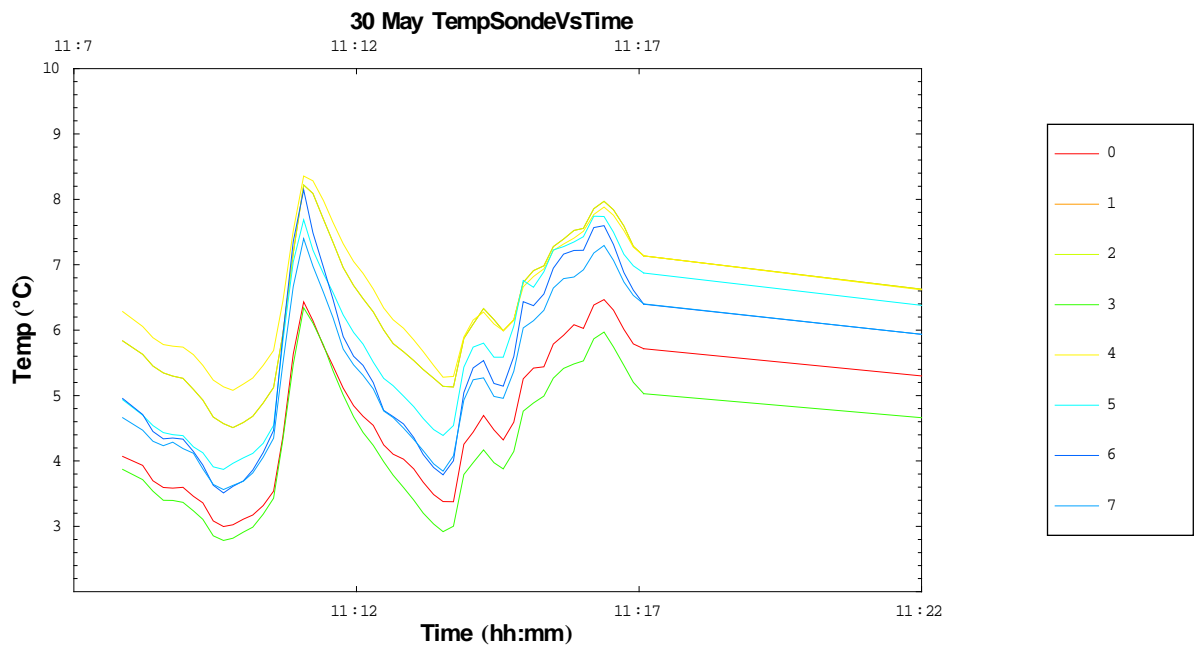


Figura 18 –La temperatura misurata dalle otto termocoppie in funzione del tempo il 30 maggio

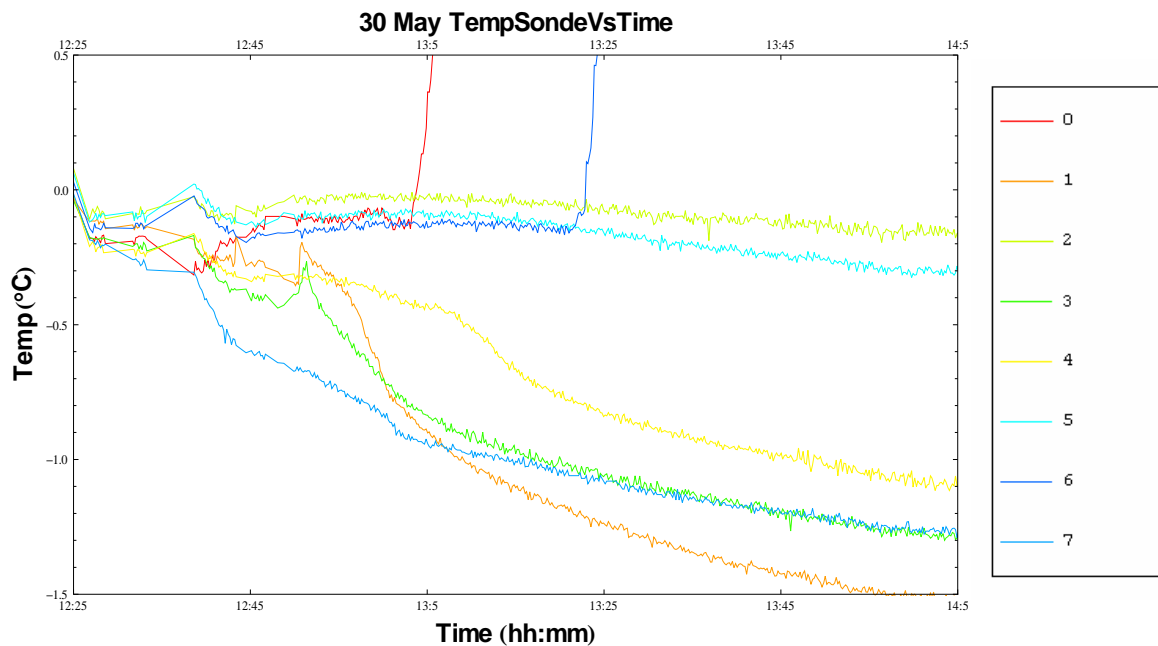


Figura 19 –La temperatura misurata dalle otto termocoppie in funzione del tempo il 30 maggio

Possiamo osservare che il periodo prima che la potenza sia applicata non fornisce indicazioni apprezzabili; esso è breve (circa 10 minuti). Le temperature iniziali misurate dalle sonde sono diverse, in quanto la temperatura dei fori appena praticati deve ancora stabilizzarsi.

Allo scopo di relazionare la distanza delle sonde dalla testa (sorgente di calore) del robot con l'andamento temporale della temperatura è opportuno mostrare la distanza delle sonde dalla testa nel tempo; dal grafico si evince che un valore medio della distanza può essere considerato 50 cm; tale valore sarà utilizzato per stimare il riscaldamento atteso.

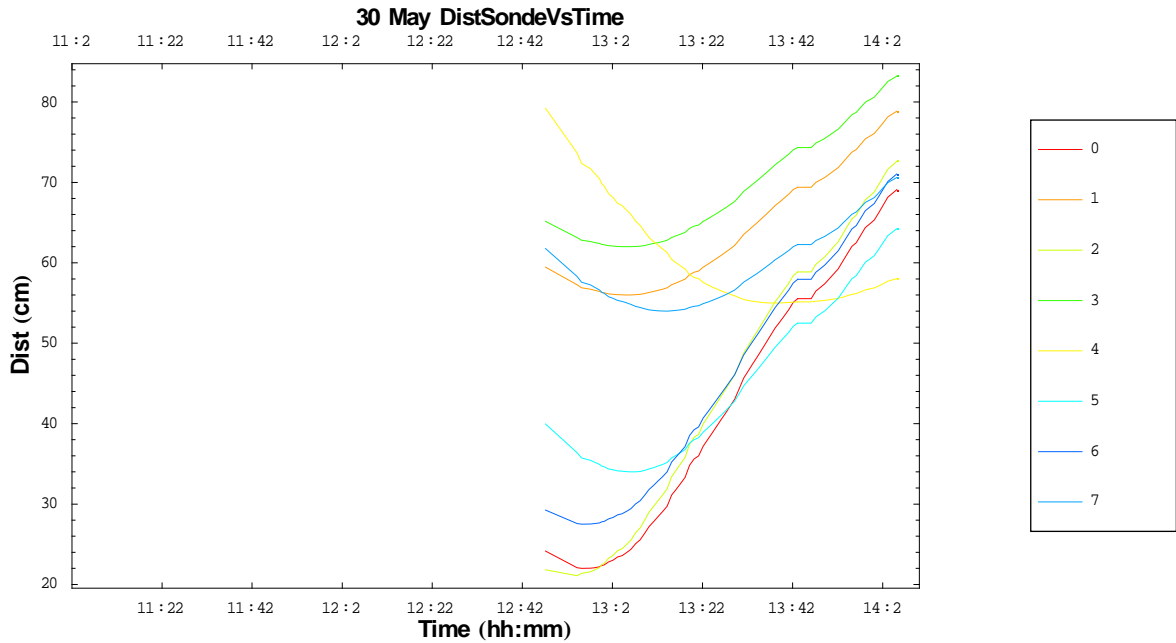


Figura 20 –La distanza delle otto termocoppie dalla testa di pandora in funzione del tempo il 30 maggio

Applicata la potenza (alle 12:48) e guardando alla tabella che contiene la distanza dal robot e la profondità a cui sono piazzate le sonde possiamo le seguenti cose; notiamo che le termocoppie 0,6,2 sono quelle poste a profondità minore e più vicine alla testa del robot. Inoltre le più vicine in assoluto, la 0 e la 6 mostrino ad un certo punto un improvviso innalzamento della temperatura. Un esame visivo ha mostrato come queste termocoppie abbiano incontrato la camicia d’acqua generata dalla testa, coerentemente con la profondità e la velocità di discesa di Pandora. Questa è una prova che, purtroppo, l’errore sul posizionamento delle sonde è dell’ordine di centimetri a causa dei fori non perfettamente verticali.

Sebbene l’andamento della temperatura sia decrescente nel tempo, nonostante la sorgente di calore, sembrerebbe che la velocità di decrescita è maggiore per le sonde più profonde; si può ipotizzare che il ghiaccio non sia a temperatura uniforme ma sia più freddo in profondità, rendendo trascurabile o quasi l’azione del riscaldamento. Sinceramente, viste anche gli errori di posizionamento, non credo sia il caso di spingere oltre l’analisi. Avremmo voluto posizionare le sonde molto più vicino al robot, in modo da apprezzare meglio il contributo della testa riscaldante, ma non è stato possibile. Elenchiamo alcuni dei fattori di disturbo della misura:

- 1) Instabilità del sistema di raccolta dati, eventualmente determinate da sbalzi di tensione.
- 2) Inerzie termiche della massa ghiacciata poiché l’azione del gatto delle nevi, che ha scavato la trincea che ha permesso l’accesso alla massa di ghiaccio compatto, potrebbe aver causato un riscaldamento locale il cui riequilibrio può facilmente aver richiesto varie ore.
- 3) Azione diretta dell’irraggiamento solare.

E' opportuno, prima di proseguire fare dei calcoli su cosa possiamo aspettarci da queste misure.

6.6.1. *La distribuzione della temperatura attorno al robot: cosa possiamo aspettarci?*

In questo paragrafo valuteremo, in modo molto approssimato, che variazione di temperatura possiamo aspettarci.

Esempio: parete semiinfinita (Abbot, termodinamica).

E' noto che in un conduttore semiinfinito se la parete di interfaccia viene improvvisamente posta alla temperatura t_b da t_0 l'andamento della Temperatura T in funzione del tempo t_i e della distanza x dall'interfaccia è il seguente:

$$T[x_, t_i_] := t_b + (t_0 - t_b) * \text{Erf}\left[\frac{x}{2 \sqrt{\alpha_g * t_i}}\right]$$

Essendo alfa il coefficiente di diffusività termica del conduttore.

Usando:

$$\begin{aligned} \rho &= 10^3 \text{ (* Kg/m}^3 \text{ *)}; \\ c_g &= 1900 \text{ (* J / (Kg *K) *)}; \\ k_g &= 2.2 \text{ (* J / (S *m *K) *)}; \\ P &= 1000 \text{ (* J /S *)}; \\ q_{lat} &= 0.33488 * 10^6 \text{ (* J /Kg *)}; \\ \alpha_g &= k_g / (c_g * \rho) \text{ (* m}^2\text{/S *)}; \end{aligned}$$

E ponendo $t_b=10^\circ\text{C}$ e $t_0 = -2^\circ\text{C}$ otteniamo dopo un ora ed un quarto:

```
t0 = -2;
tb = 10;
T[0.5, 4500]
T[0.2, 4500]

Out[46]= -1.99999
Out[47]= -1.3989
```

Ovvero dopo 75 minuti nel caso di 50 cm di distanza (valore medio che si evince dal grafico che mostra la distanza della testa dalle sonde) l'aumento di temperatura è trascurabile. Anche nel caso più ravvicinato di 20 centimetri non andiamo oltre 0.61 di innalzamento previsto (caso limite non veritiero). Da notare che abbiamo posto t_b ovvero la temperatura della camicia del foro di discesa a 10°C ; teoricamente dovrebbe essere 0°C , a causa dell'acqua in fusione.

Un'altra stima grossolana che è possibile eseguire è la seguente. Consideriamo l'energia fornita, sottraiamo quella necessaria per la fusione del ghiaccio e distribuiamo uniformemente su un cilindro di raggio 50 centimetri (il solito valore medio) ed altezza 80 cm. (Lunghezza del percorso eseguita) e, con la capacità termica, stimiamo l'innalzamento di temperatura previsto. In tal caso

```

P = 1000;
tempo = 75 * 60; (*sec*)
vf = 0.07^2 * 3.14 * 0.8; (* mc*)
vol = 0.5^2 * 3.14 * 0.8; (* mc*)
mf = vf * rho; (*Kg*)
ene = tempo * P; (*J*)
ene2 = ene - mf * qlat; (*J*)
dT = ene2 / (rho * vol * cg);
qlat = 0.33488 * 10^6;
cg = 1900;

```

```

tempo
vf
vol
mf
ene * 1.0
ene2
ene / ene2
dT

```

Out[86]= 4500

Out[87]= 0.0123088

Out[88]= 0.628

Out[89]= 12.3088

Out[90]= 4.5×10^6

Out[91]= 378029.

Out[92]= 11.9038

Out[93]= 0.31682

Ovvero l'innalzamento previsto è di circa 0.32°C.

Già queste stime ci fanno capire che stiamo cercando di misurare qualcosa di piuttosto difficile.

Stimiamo l'irraggiamento solare. Se ipotizziamo che il 90% della radiazione venga riflesso e distribuiamo il restante ad innalzare la temperatura di un cilindro di raggio 50 cm e altezza 80 cm otteniamo:

```

mq = 0.5^2 * 3.14;
P = 0.1 * 1000 * mq;
tempo = 75 * 60; (*sec*)
vol = (0.5 - 0.07)^2 * 3.14 * 0.5; (* mc*)
ene = tempo * P; (*J*)
dT = ene / (rho * vol * cg);
qlat = 0.33488 * 10^6;
cg = 1900;

```

Nei soliti 75 minuti l'innalzamento di temperatura sarà di 0.64°C.

Da notare che il 30 maggio non vi era sole, a differenza del 31 maggio.

In conclusione possiamo affermare che i fenomeni perturbativi possono seriamente inficiare la validità quantitativa delle misure.

6.7. Conclusioni del 30 maggio 2006 (1° giorno di misura).

La prima giornata è stata piuttosto impegnativa sia per allestire il campo che per inizializzare le misure. Le misure eseguite sono comunque state sufficienti, per una prima prova di penetrazione, anche se non si sono potute eseguire le prove di sterzata.

6.8. Acquisizioni del 31 maggio 2006 (2° giorno di misura). Disposizione del robot Pandora

Tutto si è ripetuto come il giorno precedente; la nuova posizione delle sonde è la seguente:

Nome della Sonda	Distanza asse sonda (cm)	Profondità (cm)
Sonda0	18.5	8
Sonda1	20	56
Sonda2	9	10
Sonda3	20	62
Sonda4	57	55
Sonda5	13	18
Sonda6	10	56
Sonda7	30	54
SondaTesta	0	0

Tabella 9 Posizioni delle sonde di temperatura 31 maggio.

Le sonde numero 1,3,4,7 sono rimaste incastrate dal giorno prima e quindi conservano la medesima posizione nel terreno.

6.9. La velocità di penetrazione di pandora in funzione del tempo e della potenza applicata (2° giorno di misura)

La potenza applicata è stata la seguente:

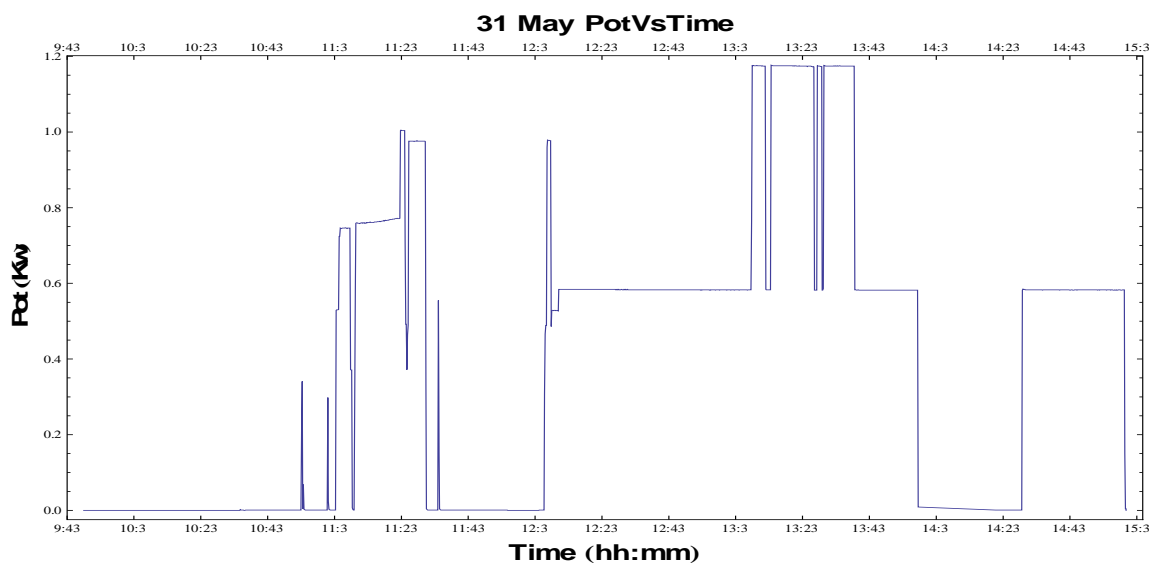


Figura 21 –La potenza erogata alla sonda in funzione del tempo il 31 maggio

Da notare che la potenza è stata piuttosto variabile, per provare la sterzata di Pandora e la penetrazione a mezza potenza.

Conseguentemente anche la velocità ne ha risentito; Possiamo distinguere tre regioni.

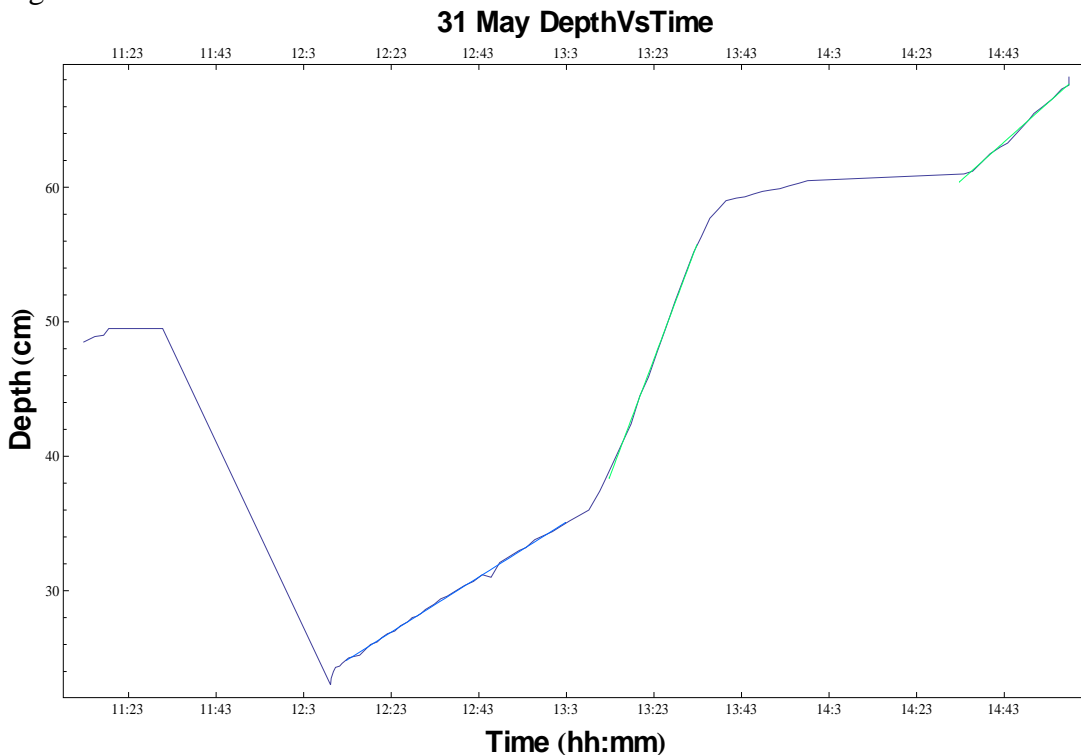


Figura 22 –La velocità di discesa in funzione del tempo il 31 maggio

Possiamo osservare che si possono distinguere tre regioni, mezza potenza (entrambe le emicalotte) , tutta potenza e di nuovo mezza potenza (una emicalotta sola a piena potenza)).

Calcoliamo le tre velocità di penetrazione nel ghiaccio.

La prima velocità di discesa è:

$$12.29 \text{ (cm/hr)} \pm 0.11 \text{ (cm/hr)}$$

La seconda velocità di discesa è:

$$51.98 \text{ (cm/hr)} \pm 0.68 \text{ (cm/hr)}$$

La terza velocità di discesa è:

$$17.44 \text{ (cm/hr)} \pm 0.42 \text{ (cm/hr)}$$

Per cui deduciamo che:

- 1) I valori della velocità a piena potenza sono compatibili con quelli misurati il giorno prima; le differenze sono intorno al 30% ma considerato le condizioni non da laboratorio le trovo accettabili. Bisogna infatti considerare il rigelo, la diversa giornata etc...L'ultimo valore era di 46 cm/hr, non troppo lontano da 51.
- 2) Il valore della velocità a mezza potenza è circa un quarto di quello misurato a piena potenza riscaldante (effetto non lineare); bisogna infatti considerare che il terzo valore della velocità è ottenuto scaldando una

sola emicalotta con 0.5Kw, cioè in sterzata. Il valore della prima velocità è invece misurato scaldando entrambe le emicalotte ma a mezza potenza ed è quindi questo che va comparato con il secondo (piena potenza).

- 3) Ad un certo punto la sonda si è trovata in condizioni di galleggiamento e tutte le misure eseguite in quel periodo sono ovviamente non significative. In pratica si ritiene significativa solamente l'ultima ora di misure e in modo particolare gli ultimi 10-15 minuti, durante i quali si è verificata quasi tutta l'escursione angolare osservata.

6.10. **Andamento della temperatura della testa del veicolo in funzione del tempo e della potenza applicata (2° giorno di misura).**

Il grafico della temperatura

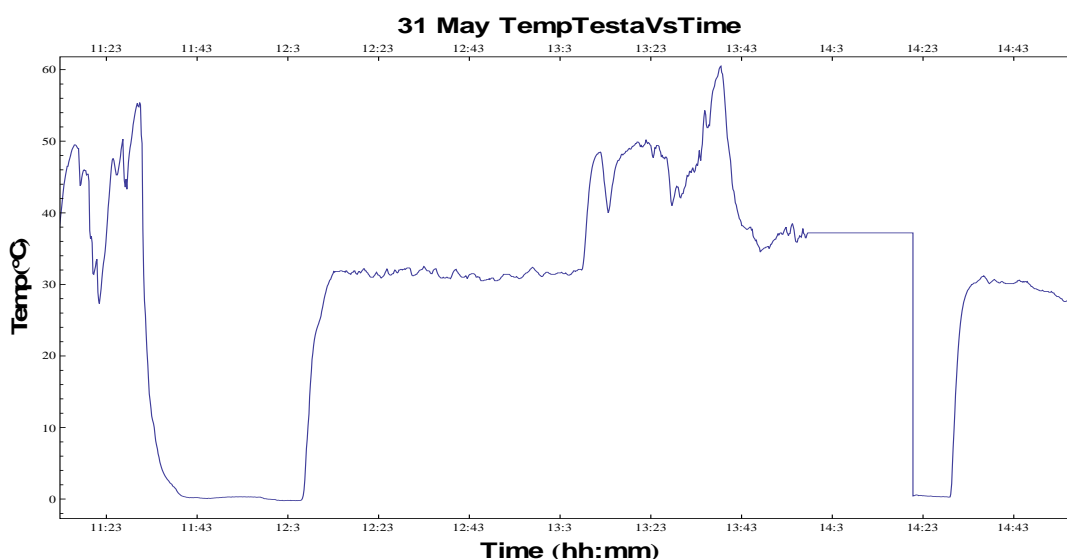


Figura 23 –La temperatura misurata sulla testa in funzione del tempo il 31 maggio

Anche in questo caso i valori sono compatibili con quelli misurati il giorno prima con un picco quando passo a piena potenza dovuta all'inerzia del ghiaccio nello sciogliersi. Da notare la piccola differenza di temperatura tra il caso mezza potenza e piena potenza. L'equilibrio che si raggiunge, attorno ai 30-40°C infatti dipende poco dalla potenza applicata, purché sufficiente a sciogliere il ghiaccio. Esso dipende perlopiù dalla capacità dispersiva del ghiaccio stesso, come già spiegato prima.

6.11. **L'inclinazione lungo la direzione X ed Y in funzione del tempo, della potenza applicata alle semicalotte (2° giorno di misura).**

La prova di sterzata è durata dalle 14:33 alle 14:58; il grafico corrispondente è il pezzo lineare della figura successiva.

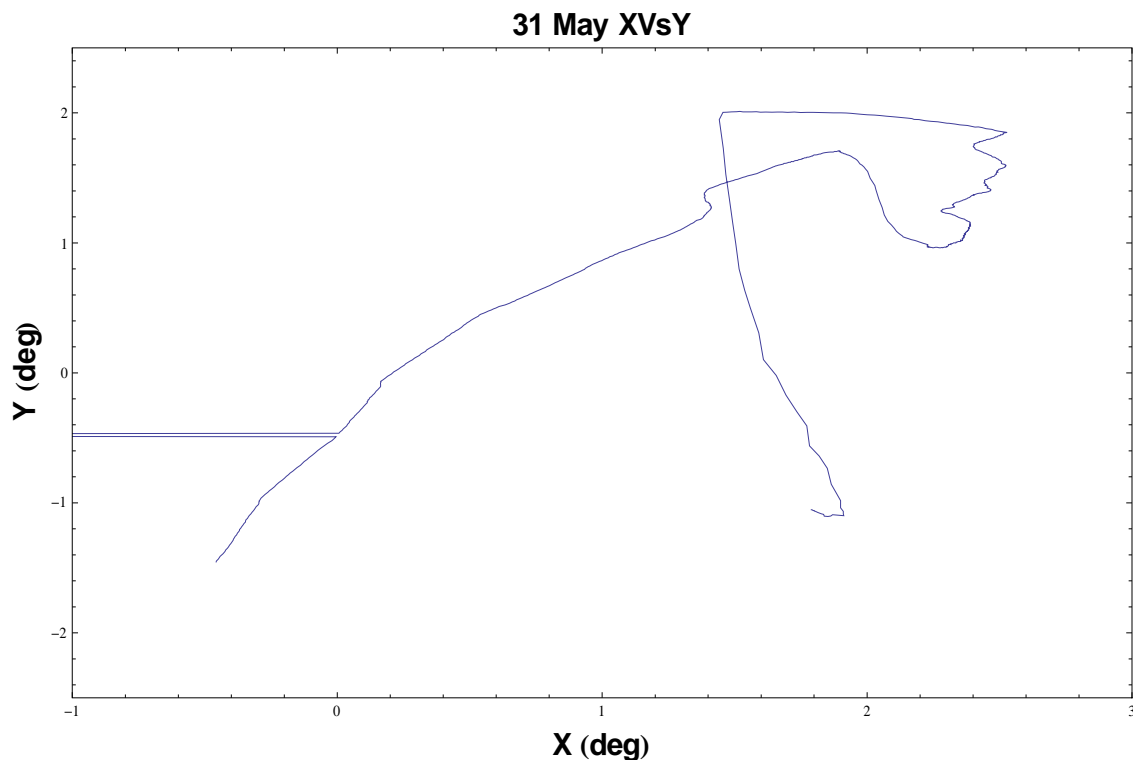


Figura 24 –La variazione di inclinazione durante le prove di sterzata; la retta è riferita all'ultimo quarto d'ora

Possiamo concludere che in 15 minuti di alimentazione di una singola emicalotta Pandora si è inclinato di due gradi a lungo l'asse X e altrettanti lungo Y, ovvero otto gradi l'ora. E' ancora da chiarire, mediante una penetrazione più profonda, se sia necessario un riscaldamento delle pareti laterali per facilitare la sterzata. Poiché in tali condizioni la velocità di penetrazione è di circa 17 cm/hr l'angolo di sterzata misurato è di circa 2 cm/grado.

6.12. *La distribuzione della temperatura attorno al robot (2° giorno di misura).*

A differenza del giorno prima quattro sonde erano già in posizione.

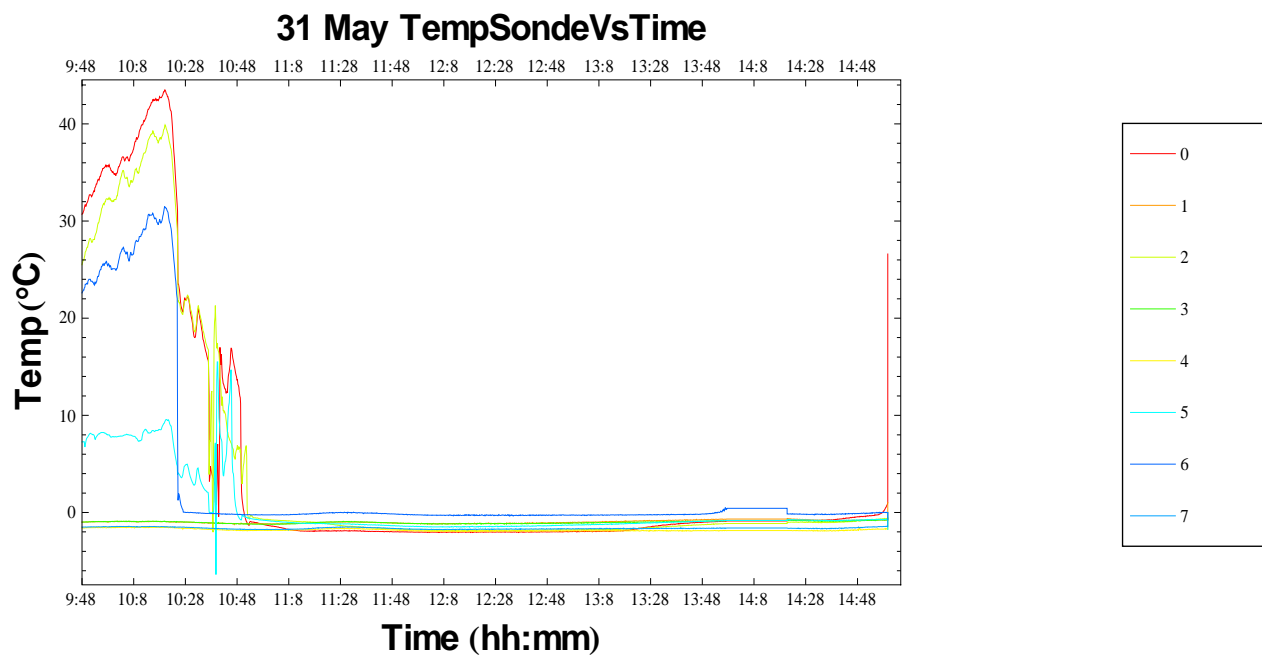


Figura 25 –La temperatura misurata dalle otto termocoppie in funzione del tempo il 31 maggio

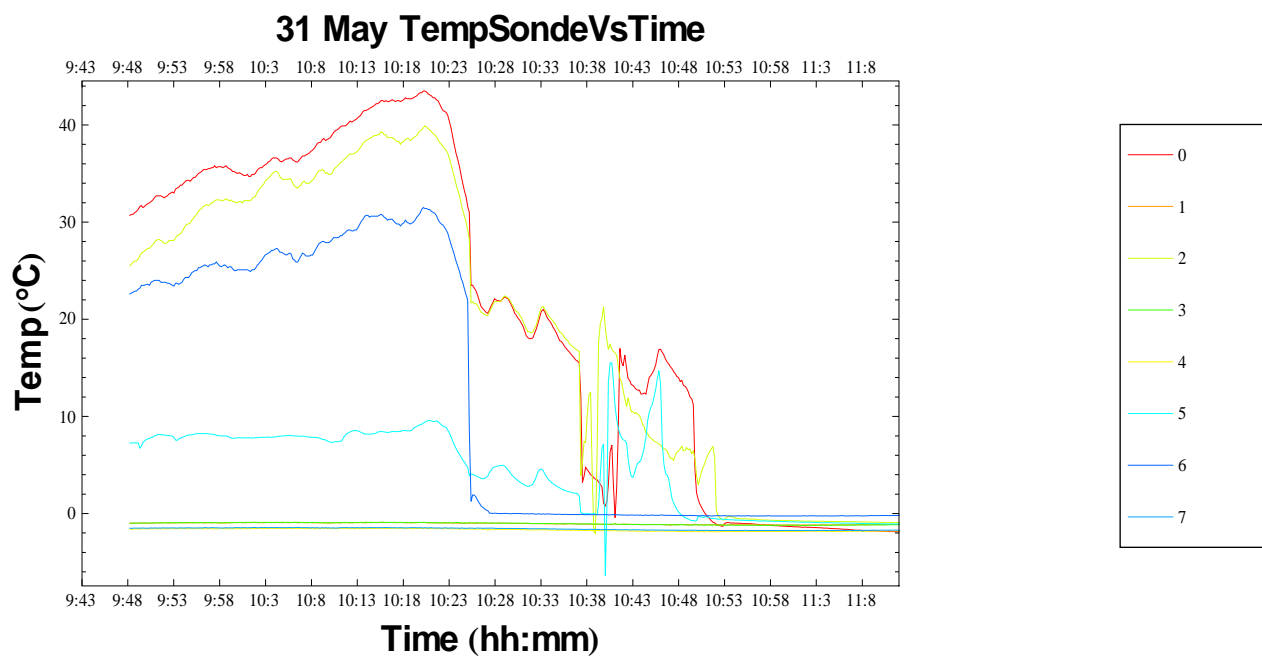


Figura 26 –La temperatura misurata dalle otto termocoppie in funzione del tempo il 31 maggio

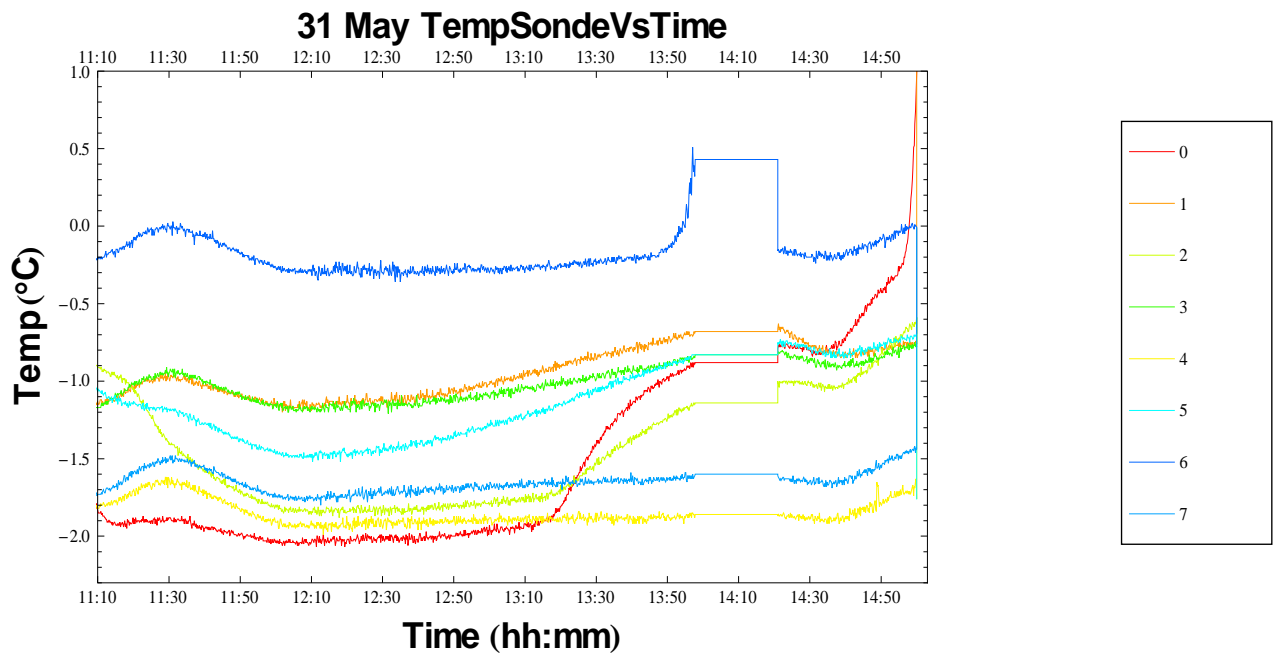


Figura 27 –La temperatura misurata dalle otto termocoppie in funzione del tempo il 31 maggio

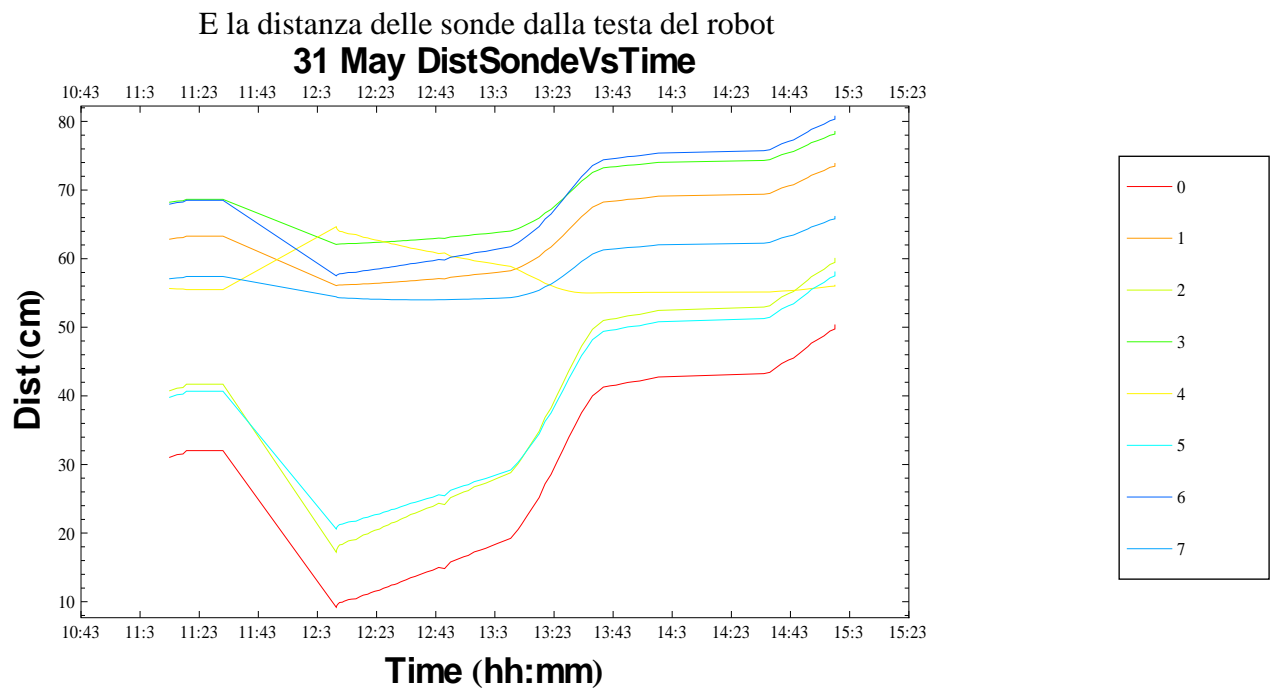


Figura 28 –La distanza delle otto termocoppie dalla testa di pandora in funzione del tempo il 31 maggio

Si possono notare delle diversità rispetto al giorno precedente:

- 1) La temperatura tende a salire o a essere stabile (Il 31 vi era il sole il 30 no).
- 2) Vi sono delle oscillazioni che si sono verificate su tutte le sonde Tali variazioni, che oscillano da qualche decimo di

grado fino a poco più di un grado, potrebbero essere state determinate dalle varie cause discusse prima.

- 3) Il fatto che le quattro sonde rimaste dal giorno prima non misurano tutte la stessa temperatura potrebbe essere spiegato dal fatto che il ghiaccio più profondo e/o più lontano dalla parete del foro è più freddo, tuttavia la quarta sonda non concorda con questa ipotesi

In definitiva sembrerebbe che il primo giorno le sonde appena inserite tendono a misurare il raffreddamento del ghiaccio appena scavato, mentre il secondo giorno la temperatura si mantiene stabile anche nelle buche appena scavate, probabilmente per l'irraggiamento solare. Tuttavia ribadiamo che date le oscillazioni delle grandezze in gioco, comparabili con i fenomeni perturbativi e non essendo misure di laboratorio non è possibile una comparazione, se non di massima con il modello teorico.

6.13. Conclusioni del 31 maggio 2006 (2° giorno di misura).

La seconda giornata ha portato un numero di misure maggiore della prima, in quanto il terreno era già stato preparato ed il tempo era migliore. Molto rimane ancora da fare, vedi le conclusioni più avanti.

6.14. Verifica dello stato finale di Pandora.

Dopo la prova Pandora è stata smontata per verificarne lo stato. Sono emerse tracce di impurità penetrate all'interno delle emicalotte, come visibili dalla figura a testimonianza della presenza di impurità presenti nel ghiaccio.

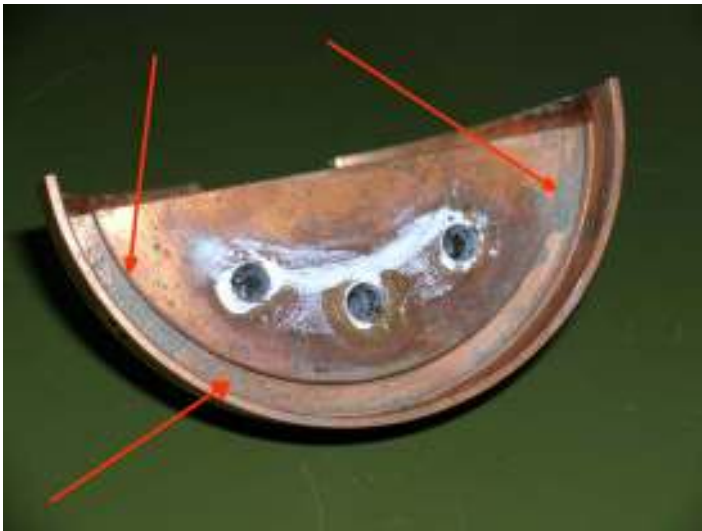


Figura 29 – Le tracce di granuli dopo lo smontaggio della testa a fine prova -

Per completezza riportiamo anche alcune immagini del foro finale lasciato nel ghiaccio una volta estratto Pandora. Le pareti sono lisce, a parte qualche scalino quando il robot è rimasto fermo più del previsto in una posizione, generando un allargamento delle pareti liquefatte.



Figura 30 – Il foro finale 1 -



Figura 31 – Il foro finale 2 -



Figura 32 – Il foro finale 3 -



Figura 33 – Il foro finale 4

7. CONCLUSIONI E LAVORO FUTURO

I due giorni di prove preliminari hanno dimostrato la capacità di Pandora di penetrare il ghiaccio senza incastrarsi. Le velocità misurate sono in linea con quanto calcolato teoricamente. Restano da verificare l'eventualità di incastro per penetrazioni di profondità maggiori di un metro e la misura della distanza di rigelo dietro al robot. Inoltre bisognerà valutare, attraverso prove di sterzata più lunghe l'opportunità di riscaldatori laterali atti a diminuire il raggio di sterzata, attualmente di circa 2 cm/grado. Un modo di pulire il fronte d'avanzamento dai detriti, che possono facilmente bloccare l'avanzata di Pandora, deve essere ancora realizzato, anche se molte soluzioni sono allo studio.

Non è stato possibile effettuare delle misurazioni della temperatura attorno al robot utili per la comparazione con il modello teorico sviluppato, risolvendo numericamente l'equazione di Fourier, in quanto gli errori di posizionamento delle sonde, la loro eccessiva distanza dalla sorgente di calore ed altri fenomeni perturbativi, tipici di un ambiente non di laboratorio ne hanno compromesso la validità.

Sotto l'aspetto delle prospettive sono state discusse alcune possibili modifiche della sonda che potranno venire considerate nel prosieguo dell'attività (in caso di rifinanziamento dell'attività medesima da parte della Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide).

Poiché è apparso evidente che la forma ed il metodo di riscaldamento influenzano direttamente l'efficienza energetica, sono stati discussi tre metodi per incrementarla:

a) Attivazione di un sistema di pompaggio dell'acqua in avanti. Questo sistema rende massimo lo scambio energetico in prossimità dell'ugello (flusso massimo), rendendolo meno efficiente verso la periferia dell'ogiva per il rallentamento del flusso e per il suo raffreddamento. Questo effetto previsto dovrebbe consentire una riduzione delle pozze determinate da una convezione non controllata generata dal solo riscaldamento per contatto.

b) Abbinamento del sistema di riscaldamento a microonde (inizialmente proposto da CSM) a quello ohmico "per contatto"; questo sistema è di costo più elevato e implica la realizzazione di una calotta in materiale termicamente, ma non elettricamente conduttivo. Il vantaggio risiede in un riscaldamento "selettivo" del ghiaccio, formando un boa, che riscaldi solo anteriormente. Il metodo, potenzialmente valido, richiede però una accurata messa a punto: infatti la profondità di riscaldamento deve essere accuratamente controllata per evitare che il ghiaccio portato in prossimità della liquefazione riceda successivamente calore al ghiaccio circostante prima che la sonda lo raggiunga. Inoltre la tecnologia di realizzazione della calotta è ancora da studiare.

c) Modifica della geometria della calotta. Secondo le simulazioni e secondo una comprensione intuitiva del fenomeno infatti, una superficie di scambio termico meno protrusa nel ghiaccio consentirebbe una minore dispersione termica di calore in direzioni "non utili" e quindi una maggiore velocità di penetrazione a parità di potenza. La geometria migliore sembra essere quella piatta, che tuttavia non consente uno steering efficace. Una geometria concava, potrebbe addirittura consentire lo sfruttamento degli effetti di convezione. Poiché in questi casi verrebbe a mancare l'effetto steering si è valutata la possibilità di reintrodurlo agendo sulla parte posteriore della sonda con riscaldatori specializzati.

8. REFERENZE

- [1] Antonioli "I GIOVEDI' DELLA CULTURA SCIENTIFICA" "Quale clima per il futuro? Attività e ruoli dell'ENEA ENEA"
OSSERVARE GLI ANDAMENTI OSSERVARE GLI ANDAMENTI
DEL CLIMA DEL CLIMA I PROCESSI CHE INFLUENZANO LA
VARIABILITA I PROCESSI CHE INFLUENZANO LA
VARIABILITA' CLIMATICA SU VARIE SCALE TEMPORALI
Casaccia 25 Settembre 2003
- [2] Termodinamica, Michael M. Abbott, Hendrick C. Van Ness Collana Schaum