



Consiglio Nazionale delle Ricerche
Mezzogiorno



CNR PER IL MEZZOGIORNO

RENDICONTAZIONE SCIENTIFICA

ATLANTE GEOTERMICO

Relazione n. **1**

Periodo di rendicontazione

Dal Luglio 2011 -Al Giugno 2012

Il Responsabile di Progetto

Adele Mantella



PARTNER DI PROGETTO

Elencare i partner di progetto

Istituti CNR: IGG, IRPI, IREA, IMAA, IIA, IAMC, IGAG, IRSA

Sono già in atto collaborazioni scientifiche, ancora non formalizzate, con INGV e ISPRA

IL PROGETTO IN SINTESI

Illustrare sinteticamente il progetto

Il progetto “Atlante geotermico” rappresenta un primo livello di sistematizzazione di dati geotermici, che per le Regioni del Mezzogiorno intende verificare e localizzare le risorse geotermiche utilizzabili non solo con metodologie disponibili, ma anche quelle in via di sviluppo per la produzione di energia geotermoelettrica.

La predisposizione dell’Atlante geotermico si accompagna alla strutturazione delle informazioni disponibili in banche dati consultabili via web, e allo studio e valutazione di aspetti ambientali legati all’uso delle risorse geotermiche, sperimentando pratiche investigative, costruttive e gestionali, funzionali alla minimizzazione degli impatti potenziali.

Il progetto prevede anche attività di formazione e informazione protese ad incrementare le competenze di settore e le conoscenze del pubblico sui vari aspetti dell’energia geotermica, in particolare quella non convenzionale, al fine di favorirne la conoscenza, l’uso e l’accettabilità.

OBIETTIVI REALIZZATIVI DI PROGETTO

Elencare gli OR di progetto

OR1 - Atlante delle risorse geotermiche convenzionali e non convenzionali nelle regioni meridionali

OR2 - Organizzazione dei dati, progettazione e realizzazione di Data Center Operativi a supporto della gestione della geotermia

OR3 - Valutazione dei possibili impatti ambientali legati all'utilizzo delle risorse geotermiche

OR4 - Informazione, promozione e formazione professionale di ricercatori, tecnologi, installatori amministratori sugli usi della geotermia

RAPPORTO SULLO STATO DI AVANZAMENTO DELLE ATTIVITA’

Illustrare lo stato di avanzamento delle attività progettuali

In questo primo anno le attività hanno riguardato soprattutto l’impostazione del lavoro, sia da un punto di vista concettuale che di predisposizione di prodotti hardware e software adeguati. Sono stati inoltre effettuati i primi test per valutare eventuali fenomeni di impatto ambientale e di individuazione di anomalie termiche. Le attività di informazione e promozione hanno coperto l’organizzazione di numerose presentazioni, la organizzazione di una Scuola Specialistica e la preparazione di un nuovo Tesoro della Geotermia.

Per quanto riguarda l’**OR1**, dopo aver definito le modalità operative, si è lavorato per produrre l’Atlante preliminare delle quattro Regioni Convergenza (Campania, Puglia, Calabria e Sicilia). Queste quattro regioni sono in fase di studio anche nel progetto VIGOR del CNR, e la raccolta dei dati è iniziata a partire da quanto già raccolto per l’altro progetto ma estendendolo ad un dettaglio maggiore, soprattutto per quanto riguarda i dati idrogeologici. Oltre alle Regioni Convergenza



IMAA ha cominciato a lavorare sulla Basilicata, a completamento delle zone comprese dalle Regioni Convergenza.

Gran parte delle attività di questo OR sono state svolte da IGG, che si avvale sia una competenza decennale nel settore geotermico che della stretta collaborazione specializzata internazionale acquisita nei diversi progetti e alla partecipazione a numerosi tavoli tecnici sulla geotermia. Il lavoro di IGG è stato arricchito dalla raccolta dati parzialmente svolta da IRPI. In banca dati geotermica sono stati caricati tutti i dati di pozzi recuperati dal Ministero Sviluppo Economico, sezione UNMIG (Pozzi per idrocarburi liberalizzati) e in tutte le pubblicazioni disponibili (raccolte informazioni AGIP, pubblicazioni scientifiche). La cartografia geologica e idrogeologica, i dati idrogeologici superficiali ha visto una buona collaborazione con IRPI e un inizio di collaborazione con ISPRA. IGG ha, inoltre, raccolto e catalogato tutte le informazioni relative a zone termali e manifestazioni geotermiche superficiali, elaborando quindi mappe di distribuzione.

Si è definito il sistema di lavoro. Verranno elaborate mappe di *Predisposizione geotermica*, nelle quali le aree vengono classificate come più o meno favorevoli usando diversi criteri che tengano conto delle caratteristiche “geotermiche” ma anche della disponibilità dei dati esistenti e dell’indeterminatezza associata. Ogni livello verrà suddiviso in aree ad egual punteggio, la somma dei punteggi nei vari livelli determinerà il punteggio totale (ed associata *Predisposizione*) di ogni settore del territorio in esame e per ogni tipologia di risorsa geotermica. Per ogni tipologia di risorsa (convenzionale e non) verrà compilato un set di livelli, alcuni dei quali potranno essere comuni per più tipologie di risorsa. Non è detto che a tutti i livelli predisposti verrà associato un punteggio, molti di questi serviranno, infatti, solamente per la predisposizione di ulteriori livelli.

La raccolta dei dati si può considerare in pratica conclusa per quanto riguarda i dati idrogeologici disponibili, e stanno terminando le analisi geologiche delle regioni Sicilia e Puglia, mediante le quali si stanno costruendo i modelli geologici tridimensionali utili alla modellistica geofisica, in particolare termica. La ricostruzione del regime termico, che è propedeutico alla identificazione di sistemi geotermici, permette anche di caratterizzare i sistemi geotermici non convenzionali. A questa ricostruzione contribuisce il lavoro, effettuato da IGG, di ricontrollo e correzione dei dati termici di pozzo, ricostruzione del flusso di calore geotermico, identificazione delle principali anomalie termiche.

Nell’ambito dell’**OR2** è stato scelto il software di condivisione dei dati, ed è iniziata la programmazione di strumenti software che permettano di interrogare i dati geotermici in WebMapping. L’attività di sviluppo software per l’interoperatività dei dati viene svolta da IMAA, che sta anche acquistando il server che verrà alloggiato a Roma. Quest’ultimo permetterà di operare in remoto collegando tutti gli istituti che partecipano al progetto e fornendo al pubblico tutti i servizi che si stanno sviluppando. Nel frattempo si stanno utilizzando un server di IMAA per il webmapping GEOSDI, e un server di IRPI a Perugia per i dati.

Presso IRPI di Cosenza è stato anche implementato un’infrastruttura hardware virtualizzata (“HPC”) capace di elaborazione dati multi-parallela, centralizzazione dei dati di qualsiasi formato (DOC, XLS, PDF, memorizzazione di dati GIS, post-processing ed elaborazione di geodati complessi. Oltre alle normali funzioni di Data-Entry, il sistema “HPC” consente diverse interfacce per la fruizione dei servizi, dalla comune interfaccia web, ai web-services, servizi OGCs, WMS, WFS etc. E’ stato realizzato nell’ambito del progetto “Atlante” e sta svolgendo tuttora funzioni di supporto delle banche dati utilizzate per il progetto VIGOR, ed in particolare Geonetwork, presso il CNR IRPI di Cosenza, sede in cui è stata sviluppata l’infrastruttura hardware e software. Su tale struttura informativa sono state realizzate più applicazioni WebGIS che sono tuttora in uso da parte di altri istituti che, connettendosi alla banca dati centrale, fruiscono dei servizi web messi a disposizione delle procedure implementate. Maggiori dettagli sono forniti in *Allegato 1*.



Per l'**OR3** si è deciso di effettuare analisi di deformazione superficiale e l'identificazione di anomalie termiche di origine geotermica mediante dati telerilevati nell'infrarosso termico, a cura dell'IREA e dell'IMAA. L'area di studio del primo anno è stata l'isola di Ischia e la zona di Mondragone (Campania) per gli studi di deformazione, e la costa pugliese per l'acquisizione di dati multi spettrali ad infrarosso termico da aereo.

Per quanto riguarda l'isola di Ischia, l'analisi a bassa risoluzione ha rivelato la presenza di un significativo pattern di deformazione, imputabile a fenomeni di instabilità di versante, che interessa tutti i fianchi del Monte Epomeo e una deformazione più localizzata corrispondente alla nota frana di Fango (nel settore nord-occidentale dell'isola). Inoltre, ha mostrato la presenza di un fenomeno deformativo, caratterizzato da un rate di 4-5 mm/anno, relativo all'area di Casamicciola Terme, probabilmente legato ad un processo di alterazione idrotermale dei depositi basali che costituiscono il substrato dell'isola. Inoltre, mediante l'utilizzo dell'analisi ad alta risoluzione è stato possibile individuare la presenza di un numero esiguo di edifici e singole infrastrutture per le quali sono stati misurati spostamenti di alcuni cm nel periodo di tempo esaminato.

Per quanto riguarda l'area di Mondragone, l'analisi a bassa risoluzione spaziale ha rivelato la presenza di un pattern deformativo caratterizzato da un rate di circa 1 mm/anno, imputabile probabilmente alla subsidenza che interessa l'intera Piana Campana. L'analisi ad alta risoluzione ha mostrato la presenza di alcune strutture a carico delle quali sono stati individuati fenomeni deformativi molto localizzati spazialmente.

Maggiori dettagli sono forniti in *Allegato 2*.

Il volo di acquisizione di dati multispettrali è stato posticipato, pur avendo espletato tutti gli incartamenti amministrativi, compreso l'espletazione della gara, a causa delle attuali anomali condizioni meteorologiche che perdurano da diversi tempo, che hanno procurato un innalzamento della temperature medie del suolo e del mare che pregiudicano la corretta acquisizione e l'elevata qualità dei dati in quanto la tipologia di dato da acquisire (temperatura) viene non perfettamente discriminato nelle zone di interesse geotermale. Pertanto, si è deciso di attendere il prossimo autunno per poter effettuare le acquisizioni dei dati.

Per quanto riguarda le attività dell'**OR4** l'IGG ha promosso il progetto e i risultati attesi in occasione di diversi congressi nazionali e internazionali: il Congresso GeoItalia (Settembre 2011, per il quale è stata organizzata anche una conferenza stampa che ha dato grande visibilità alle attività del CNR); il convegno dedicato al Progetto VIGOR presso la sede centrale del CNR (2 novembre 2011); Congresso GNGTS (Trieste, Novembre 2011); GEOPOWER EUROPE, (Milano Dicembre 2011); il Convegno organizzato presso il CNR, sede centrale, insieme all'Unione Geotermica Italiana e SIGEA (Giugno 2012), e diversi seminari tenuti in diverse università (Potenza, Pavia) e località (Marina di Massa, Campobasso). IGG ha inoltre organizzato, insieme a INGV e GFZ (Germania) una scuola internazionale di geotermia nell'ambito dell'International School of Geophysics di INGV, dal titolo "Understanding geological systems for geothermal energy", che si terrà a Erice, Sicilia, tra il 26 e il 31 settembre 2012, con una sessione dedicata ai risultati del progetto Atlante (oltre a quelli del progetto VIGOR). Per contribuire alla disseminazione degli scopi del progetto, IGG ha rielaborato graficamente e distribuito la scheda preparata per l'Atlante Geotermico (Brochure in *Allegato 3*).

Sempre nell'ambito dell'**OR4**, l'IIA sta fornendo un contributo nell'ambito della parte relativa alla promozione e disseminazione delle attività. In particolare, considerando l'esperienza di EKOLab nel settore dell'organizzazione della conoscenza ambientale e della sua diffusione e nella costruzione e sviluppo di thesauri, schemi di classificazione, sistemi terminologici per l'ambiente e glossari, è stata avviata la creazione di un glossario bilingue (italiano e inglese) sulla geotermia e sulle tecnologie ad essa connesse e l'organizzazione dei relativi termini in un thesaurus (sempre



bilingue) basato su una struttura definita e controllata di relazioni semantiche (gerarchiche, associative e di equivalenza) tra i termini (*Allegato 4*).

Questi strumenti per la conoscenza avranno lo scopo di organizzare, secondo standard internazionali, i concetti relativi al settore della geotermia e di fornire un linguaggio comune e condiviso che aiuti il pubblico e tutti coloro che non si occupino direttamente delle tematiche trattate a comprendere meglio termini scientifici, tecnici e specifici del settore.

Il glossario e il thesaurus potranno essere utilizzati, oltre che per la comprensione di termini specifici, per l'indicizzazione, la catalogazione di documenti e report, la classificazione e il reperimento delle informazioni relative a tutti gli aspetti della geotermia. Questi "strumenti linguistici" saranno aggiornati e controllati e adattati alle esigenze espresse dagli esperti.

Il thesaurus è stato pensato per:

- essere uno strumento ben strutturato e rifinito, capace di combinare una solida base concettuale alla flessibilità richiesta dalle diverse applicazioni;
- rappresentare una mappa semantica e terminologica aggiornata del dominio ambientale relativo alla geotermia;
- permettere vari livelli di comprensione e applicazione per utenti con differenti caratteristiche e diversa esperienza;
- assicurare l'esportazione del thesaurus in differenti applicazioni tecnologiche

Le attività complessive da svolgere saranno:

- la ricerca e acquisizione dei documenti e dei materiali già esistenti sul tema della geotermia in Italia e in campo internazionale
- la revisione, integrazione, adattamento dei termini ai fini della costruzione degli strumenti linguistici
- la costruzione del glossario
- l'organizzazione dei termini in un thesaurus strutturato in cui i termini stessi verranno organizzati sia secondo una struttura a matrice semantica di relazioni gerarchiche e di connessione tra i termini, sia secondo una serie di temi che saranno specificamente sviluppati e concordati con gli esperti del settore.

In particolare, sono state condotte le seguenti attività:

1. definizione della struttura categoriale del thesaurus secondo il seguente schema logico:

ENTITA'
ENTITA' MATERIALI
ENTITA' IMMATERIALI
ATTRIBUTI
STRUTTURA E MORFOLOGIA
COMPOSIZIONE
PROPRIETA'
ASPETTI DINAMICI
PROCESSI
CONDIZIONI
ATTIVITA'
EFFETTI E SINGOLI EVENTI
DIMENSIONI

2. prima acquisizione di terminologia da fonti nazionali e internazionali (ad oggi 1783 termini) in inglese e italiano



3. prima collocazione di termini nella struttura gerarchica (ad oggi 940 relazioni gerarchiche)
 4. prima raccolta di varianti linguistiche di alcuni termini (inglese britannico/americano)
 5. sviluppo di un primo gruppo di sinonimi
- È inoltre in corso l'acquisizione di nuova terminologia a partire da fonti segnalate dal coordinamento (CNR-IGG).

Va notato che il totale dei costi rendicontato per questo primo anno di attività è inferiore a quanto previsto nel budget. Il motivo principale è da ricondurre alle numerose attività del progetto VIGOR, che si sta svolgendo in contemporanea e coinvolge la gran parte dei partner del progetto Atlante (tutti escluso IIA). Il ritmo serrato delle attività di VIGOR ha comportato in parte un minor tempo da dedicare alle attività di Atlante (incluso un minor tempo da dedicare ad attività quali la stesura di convenzioni con ISPRA e INGV, che per il momento stanno lavorando in collaborazione senza un atto formale), dall'altro una maggiore congestione delle amministrazioni degli istituti che stanno facendo molta fatica ad effettuare contratti, ordini e pagamenti in tempi rapidi. Diversi soldi sono già stati impegnati ma non ancora spesi. Questa situazione, comunque, si risolverà oramai molto in fretta in quanto VIGOR è in scadenza per ottobre 2012.

COSTI SOSTENUTI

Voci di Spesa	I Anno Budget (€)	I Anno Speso al 12mo mese (€)	I Anno % Speso al XX mese (%)
Personale impiegato nel progetto	€ 200.000	€ 114.799	57
Attrezzature, Strumentazioni e Prodotti software	€ 30.000	€ 8.264	28
Altri costi funzionali al progetto	€ 80.000	€ 0	0
Stages, Missioni, e Formazione professionale	€ 20.000	€ 968	5
Consulenze scientifiche	€ 70.000	€ 3.630	5
Spese generali	€ 100.000	€ 100.000	0
TOTALE	€ 500.000	€ 227.661	46



Consiglio Nazionale delle Ricerche
Mezzogiorno



ATLANTE GEOTERMICO PER IL MEZZOGIORNO

Sistema Hardware Virtualizzato – Datacenter GIS & HPC

A cura di CNR-IRPI sede di Cosenza

Allegato n. 1

OR di riferimento

OR2 - Organizzazione dei dati, progettazione e realizzazione di Data Center Operativi a supporto della gestione della geotermia

1 Introduzione

“HPC” consiste in una infrastruttura hardware virtualizzata capace di elaborazione dati multi-parallela, centralizzazione dei dati di qualsiasi formato (DOC, XLS, PDF, memorizzazione di dati GIS, post-processing ed elaborazione di geodati complessi.. Oltre alle normali funzioni di Data-Entry, il sistema “HPC” consente diverse interfacce per la fruizione dei servizi, dalla comune interfaccia web, ai web-services, servizi OGCs, WMS, WFS etc. E’ stato realizzato nell’ambito del progetto “Atlante” e sta svolgendo tuttora funzioni di supporto delle banche dati utilizzate per il progetto VIGOR, ed in particolare Geonetwork, presso il CNR IRPI di Cosenza, sede in cui è stata sviluppata l’infrastruttura hardware e software. Su tale struttura informativa sono state realizzate più applicazioni WebGIS che sono tuttora in uso da parte di altri istituti che, connettendosi alla banca dati centrale, fruiscono dei servizi web messi a disposizione delle procedure implementate.

1.1 Infrastruttura hardware

La struttura hardware (fig.1) si basa su tecnologia Microsoft Hyper-V e attraverso l’utilizzo di uno o più nodi fisici, che espongono le risorse fisiche come CPU RAM e spazio disco, costruisce uno strato virtuale chiamato HPC. Su questo strato virtuale è possibile definire una o più macchine virtuali capaci di interagire sia tra di loro che di esporre servizi web agli utenti web esterni. Oltre alle interfacce web la infrastruttura HPC consente altresì di suddividere il carico di lavoro tra i vari nodi oppure diversamente ottenere dei tempi di elaborazioni performanti rispetto ad un singolo processamento dei dati.

HPC – GIS SERVER

(High Performance Computing – Geoprocessing – Model Simulation)

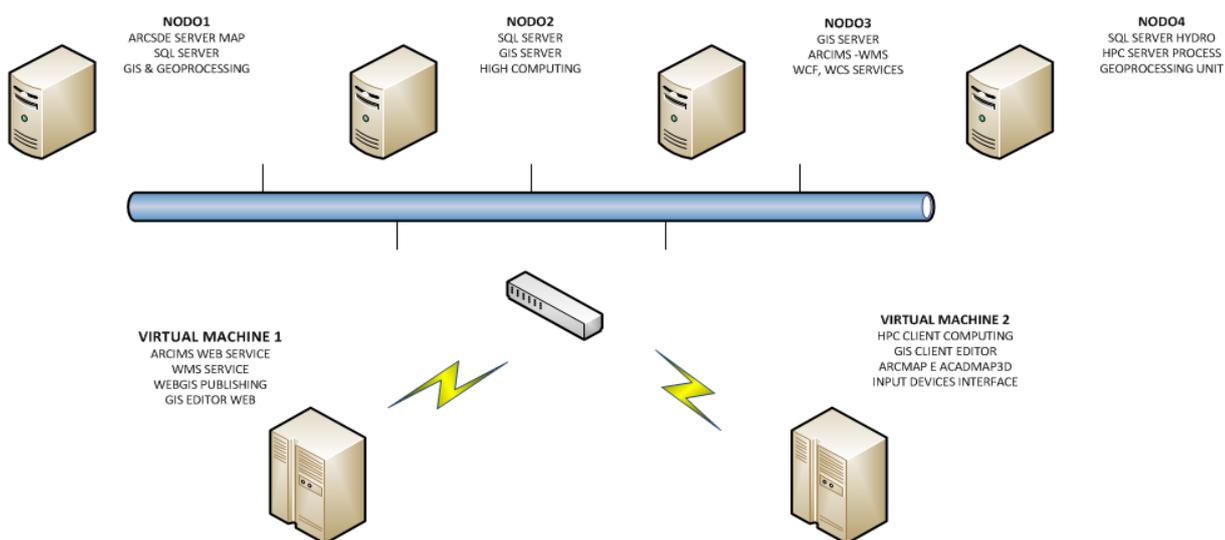


Fig. 1 – infrastruttura hardware per il sistema di virtualizzazione Hyper-V sviluppato presso il CNR IRPI dell’ U.O.S. di Cosenza



2 Dettagli tecnici

Il sistema “HPC” è costituito, a livello hardware, da una serie di componenti che si riassumono in dettaglio qui di seguito:

Q.tà	Descrizione
3	SERVER RACK 2U AMD OPTERON X64 16GBRAM RAID0 500GB
1	SAN STORAGE SERVER ISCSI 8TB RAID 5/JBOD
4	SCHEDE DI RETE TCP OFFLOAD ISCSI CLIENT/SERVER
1	ARMADIO RACK 24U CORREDATO DI PANNELLI + PATCHES
1	SWITCH CONNECT INTELLINET 16P GIGABIT 2 VLAN L3
1	WORKSTATION GIS CPU AMD PHENOM-II 16GBRAM+1TBHDD 2xCROSSFIRE VIDEO 2GBGDDR5+DUAL MONITOR

Tutti i componenti sono di ultima generazione e inoltre il sistema “HPC” conserva le capacità di essere un apparato hardware scalabile ed espansibile, attraverso la semplice aggiunta di nuovi moduli, anche non necessariamente identici in termini di configurazione di basso livello.

3 Esempi applicativi e sviluppo software

3.1 Sviluppo software WebGIS

Un esempio di applicazione virtuale (fig.2) realizzata nell’infrastruttura software HPC è quella relativa allo sviluppo di un software dotato di interfaccia web per la gestione delle stratigrafie di pozzi e sondaggi. Tale software si compone di vari moduli e conserva quindi la capacità di espansibilità mediante l’implementazione di nuove funzionalità. I moduli principali sono:

1. Modulo per la gestione dei pozzi / sondaggi
2. Gestore delle stratigrafie mediante l’attribuzione dei parametri dei vari strati
3. Definizione dei tipi litologici a livello amministratore
4. Profilazione utente per la gestione delle credenziali e dei permessi di accesso al sistema

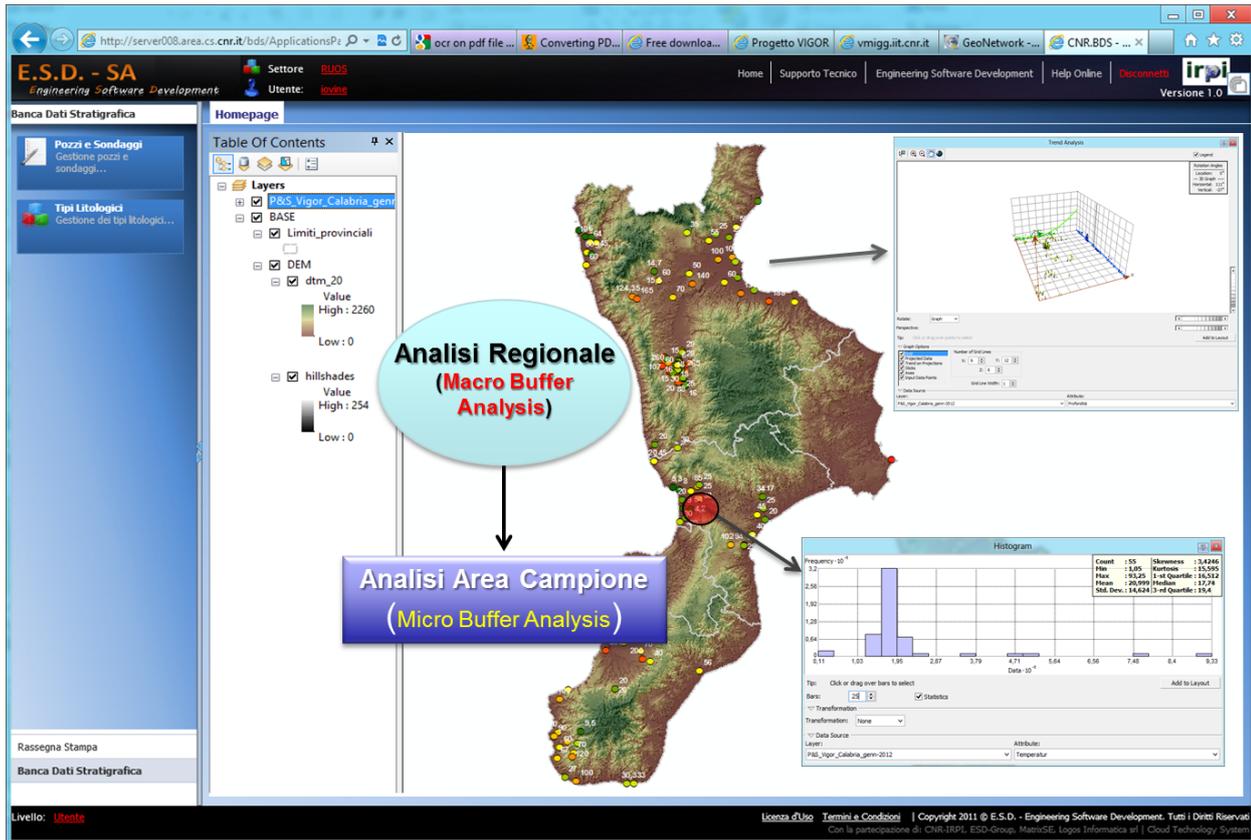


Fig. 2 – applicazione webgis per la gestione dei pozzi/sondaggi e dei livelli stratigrafici associati, con esposizione dei servizi web per la collaborazione con partners esterni.

3.2 Features e obiettivi

Tra gli obiettivi che ci si propone di realizzare entro la fine delle attività di ricerca inerenti il progetto in oggetto, assumo particolare rilievo la possibilità di realizzare un Data Center GIS (fig. 3) mediante il quale operare attraverso diversi livelli. Questa struttura centralizzata offrirà la possibilità di operare localmente mediante Desktop Application (ad es. ArcMap) per integrare e arricchire la banca dati con mappe GIS e geodati, esporre interfacce di comunicazione diversificate (ad es. Mobile Connect, WebGIS etc...) e permettere altresì il web-editing, ovvero la capacità per operatori remoti di editare un geodato. Sono tutte attività complesse da approntare ma concludo con l'augurio di dar un ottimo contributo nella realizzazione di questo strumento che avrà applicabilità in questo progetto o non solo, essendo dotato degli elementi essenziali che una tecnologia deve avere, ovvero l'espansibilità e la modularità.

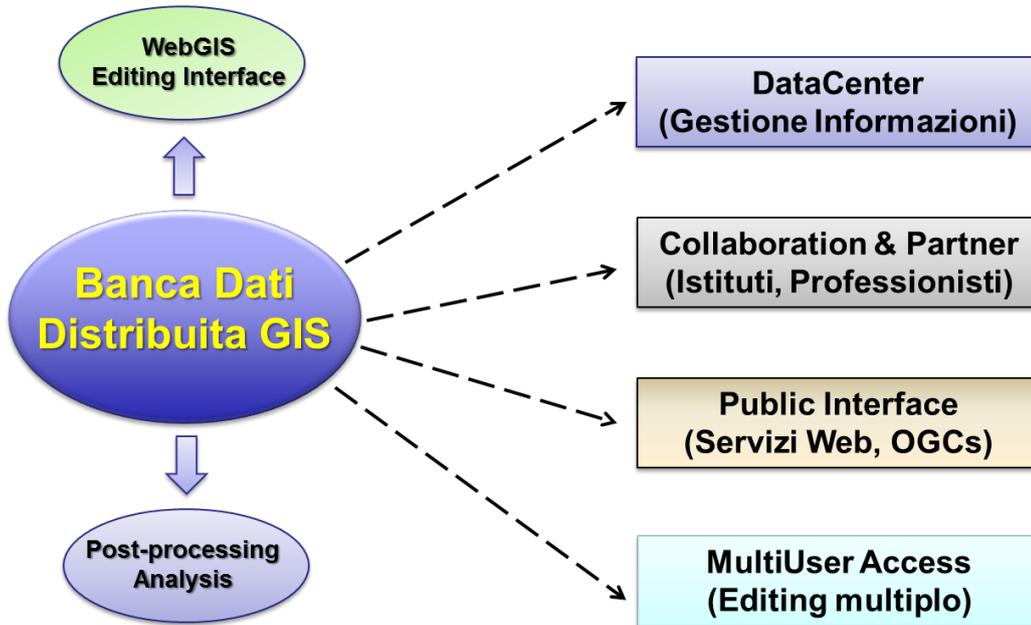


Fig. 3 – esempio di modello corporativo per lo sviluppo di un Data Center GIS mediante tecnologie di ul



Consiglio Nazionale delle Ricerche
Mezzogiorno



ATLANTE GEOTERMICO PER IL MEZZOGIORNO

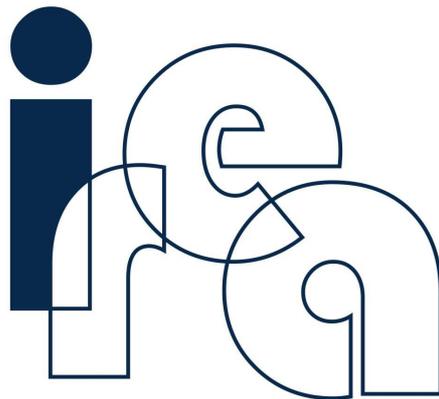
*Studio dei processi deformativi attivi e dello stato termico superficiale
di Ischia e Mondragone*

A cura di CNR-IREA

Allegato n. 2

OR di riferimento

**OR3 - Valutazione dei possibili impatti
ambientali legati all'utilizzo delle risorse
geotermiche**



istituto per il rilevamento
elettromagnetico dell'ambiente

Rapporto delle attività svolte da IREA nell'ambito del progetto "Atlante Geotermico"

1° Anno

LUGLIO 2012

Autori (in ordine alfabetico):

Antoninetti Massimo, Brivio Pietro Alessandro, Lanari Riccardo, Manzo Mariarosaria, Stroppiana Daniela, Tizzani Pietro

Via Diocleziano, 328 - 80124 Napoli

tel. +39-081-5707999 - fax +39-081-5705734

e-mail: mbox@irea.cnr.it - <http://www.irea.cnr.it>

1. Introduzione, obiettivi e descrizione aree test

Il calore terrestre trae la sua origine dal residuo del calore primitivo del pianeta integrato dal calore generato dagli elementi radioattivi dispersi nelle rocce della crosta e del mantello. L'energia geotermica è praticamente inesauribile e si propaga per conduzione nelle rocce compatte e per convezione in quelle permeabili e nelle fratture, affluendo su tutta la superficie del globo con un gradiente di temperatura medio di 33°C/km dalla superficie in profondità. Si tratta, però, di una risorsa energetica dispersa, raramente concentrata, in genere 6000 volte inferiore a quella della radiazione solare (al suolo). Inoltre, l'energia geotermica è tendenzialmente costante nel tempo e può concentrarsi in situazioni geologiche privilegiate (anomalie termiche locali) con livelli di temperatura che possono raggiungere valori interessanti per l'utilizzazione. Poiché le risorse geotermiche sono costituite da energia, e non da sostanze minerali, si preferisce parlare di "sistemi" geotermici piuttosto che di "giacimenti".

La distribuzione delle risorse geotermiche sul territorio nazionale risulta essere fortemente condizionata dallo scenario geodinamico di riferimento. In particolare, nell'Italia peninsulare gli Appennini separano due regioni a comportamento e stato termico differenti. La prima, relativamente fredda, è rappresentata dalla regione di avanfossa Po-Adriatica-Ionica, posta ad est della catena Appenninica, ed è costituita da domini strutturali non ancora coinvolti dai processi tettonici responsabili dell'apertura del Tirreno. La seconda, più calda, è rappresentata dal dominio interno Tirrenico di retro-arco, ad ovest della catena Appenninica, dove è riconosciuto un regime tettonico tensionale. Quest'area si estende dalla Toscana alla Campania ed è caratterizzata da vaste aree ad elevato flusso di calore unitamente ad un vulcanismo recente ed attuale. Inoltre, in vaste porzioni della suddetta regione le temperature eccedono, in genere, i 100° C ad una profondità di circa 2000 m, raggiungendo i 350-400°C nell'aree vulcaniche, all'interno delle quali è nota sin dalla metà del secolo scorso l'esistenza di campi di vapore e di acque calde pressurizzate (aree di Larderello (Toscana), Latera (Lazio) e Campi Flegrei (Campania)) (BHRA & ENEL, 1982). I gradienti geotermici nelle regioni esterne, ossia quelle di avanfossa ed avanpaese, sono tipicamente inferiori a quelli normali (circa 33°C/km) e, comunque, più bassi degli altri bacini europei come quelli di Aquitania, Parigi e Ungheresi (Sommaruga and Guglieminetti, 1987). In ogni caso, in condizioni strutturali particolarmente favorevoli anche nella regione della Valle del Po sono presenti acquiferi con temperature comprese tra i 65°C (Vicenza) ed i 100°C (Ferrara), anche a basse profondità, specie nelle formazioni calcaree. Inoltre, a profondità poco al di sotto dei 2000 m nella regione centro-occidentale della Valle del Po sono stati rinvenuti acquiferi di acque salate a temperature di circa 50°-60°C, che sono stati impiegati per usi industriali e/o domestici nell'ambito dello sfruttamento della risorsa geotermica di bassa entalpia.

E' importante sottolineare che durante gli anni '70 ed '80 la valutazione della risorsa geotermica italiana, realizzata a partire dalle metodologie sviluppate da ENEL e da US Department of Energy, è stata mirata all'utilizzo della stessa risorsa per usi elettrici. In questo contesto (alta entalpia) la profondità di 3000 m fu indicata come limite economicamente conveniente per una esplorazione della risorsa calore (Carella et al., 1984). Questo limite, evidentemente di natura squisitamente commerciale, ha fortemente condizionato la valutazione oggettiva della risorsa calore sul territorio nazionale.

In questo contesto si inserisce il progetto "Atlante Geotermico", con il chiaro obiettivo di effettuare una valutazione sistematica ed oggettiva della risorsa calore nelle aree geotermiche di bassa ed alta entalpia sul territorio nazionale.

Il presente documento rappresenta il rapporto delle attività svolte dall'Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (IREA) nell'ambito del suddetto progetto nel corso del primo anno.

Di seguito sono illustrati i risultati relativi ai processi di deformativi attivi e allo stato termico superficiale in due aree test situate all'interno del dominio tensionale tirrenico. In particolare, le aree di studio sono: l'Isola vulcanica d'Ischia (Napoli), che risulta essere un tipico esempio di sistema idrotermale di media entalpia, e l'area di Mondragone (Caserta), situata a ridosso dei contrafforti Appenninici, che potrebbe rappresentare un sistema di bassa entalpia.

2. Analisi delle deformazioni superficiali tramite tecniche di Interferometria Differenziale Radar ad Apertura Sintetica

2.1 Introduzione all'Interferometria Differenziale Radar ad Apertura Sintetica

L'Interferometria Differenziale Radar ad Apertura Sintetica (DInSAR) è una tecnica di telerilevamento che permette di generare mappe di deformazione della superficie terrestre a partire dalla differenza di fase (interferogramma) tra due immagini SAR relative alla scena osservata e acquisite in tempi diversi lungo due orbite sufficientemente vicine (Rosen et al., 2000). In particolare, tale tecnica consente di rilevare fenomeni di deformazione che producono una variazione di distanza dei target osservati dal sensore, misurando la proiezione dello spostamento lungo la linea di vista del radar (line of sight, LOS) con una precisione che è frazione della lunghezza d'onda alla quale opera il sistema, quindi dell'ordine del centimetro e, in alcuni casi, anche di qualche millimetro (Rosen et al., 2000). A tal proposito è importante sottolineare che la tecnica DInSAR consente di misurare spostamenti che producono una variazione nella distanza sensore-target, quindi principalmente verticali ed est-ovest, mentre non è in grado di rilevare movimenti lungo la direzione nord-sud parallela alla linea di volo del satellite. Un'altra caratteristica della tecnologia DInSAR consiste nel poter misurare solo la componente di deformazione proiettata lungo la linea di vista del sensore; pertanto, utilizzando le informazioni ottenute dall'analisi di una sola orbita di acquisizione, non è possibile distinguere un sollevamento rispetto ad un movimento orizzontale che generi un avvicinamento del target al sensore oppure un abbassamento rispetto ad un movimento orizzontale che generi un allontanamento del target dal sensore.

La capacità della tecnica DInSAR di rivelare gli effetti prodotti da singoli eventi deformativi (ad esempio un terremoto) è stata già ampiamente dimostrata e l'interesse della comunità scientifica e degli enti di sorveglianza si è successivamente concentrata sulla possibilità di monitorare l'evoluzione temporale delle deformazioni individuate, specie in zone con dinamica a carattere fortemente non lineare, come ad esempio gli acquiferi, le aree vulcaniche e geotermiche.

Una possibile risposta a tale problematica è rappresentata dalla tecnica DInSAR denominata SBAS (acronimo di Small BAseline Subset) (Berardino et al., 2002) sviluppata presso l'IREA-CNR di Napoli. L'approccio SBAS si basa sulla generazione di interferogrammi ottenuti a partire da dati acquisiti da orbite sufficientemente vicine (piccole baseline spaziali) e possibilmente con tempi di rivisitazione non elevati (piccole baseline temporali). Queste caratteristiche consentono di minimizzare gli effetti di rumore (denominati di decorrelazione spaziale e temporale), incrementando pertanto il numero di punti per unità di area sui quali si riesce a fornire una misura affidabile della deformazione osservata; inoltre, tutte le misure sono riferite ad un unico punto nello spazio, scelto in una zona ritenuta stabile, e ad un istante nel tempo, che tipicamente corrisponde alla prima acquisizione disponibile.

La tecnica SBAS è oramai consolidata ed è stata sperimentata con successo utilizzando, anche congiuntamente (Pepe et al., 2005), i dati acquisiti dai satelliti ERS-1/2 ed ENVISAT dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) per l'analisi delle deformazioni degli edifici vulcanici (Long Valley caldera (California, USA), Vesuvio, Campi Flegrei, Ischia ed Etna (Italia), Tenerife (Spagna), ecc.), di aree urbane (San Francisco, Los Angeles, etc.) oltre che di zone soggette a fenomeni di frana (Maratea,

Assisi, etc.). Tali esperimenti hanno consentito di individuare eventi deformativi, parte dei quali precedentemente sconosciuti, con risoluzioni spaziali di circa 100m x 100m (in questo caso si parla di analisi di fenomeni deformativi alla scala regionale) e con velocità di spostamento comprese tra 1 mm/anno e qualche cm/anno.

Un ulteriore sviluppo della tecnica sopra descritta, particolarmente importante in ambito urbano, consiste nell'utilizzare i dati a piena risoluzione spaziale (circa 5/10 metri, in questo caso si parla di analisi alla scala locale) per rilevare fenomeni deformativi, anche molto localizzati spazialmente, che mostrano uno spostamento relativo rispetto a quello medio del terreno e per individuare precisamente le singole strutture, tipicamente antropiche, affette da tale movimento (Lanari et al., 2004). Anche in questo caso è stata realizzata un'ampia sperimentazione (condotta anche in sede ESA nell'ambito del progetto PSIC-4) che ha mostrato l'efficacia dell'approccio SBAS anche per l'analisi di dati DInSAR generati a piena risoluzione spaziale.

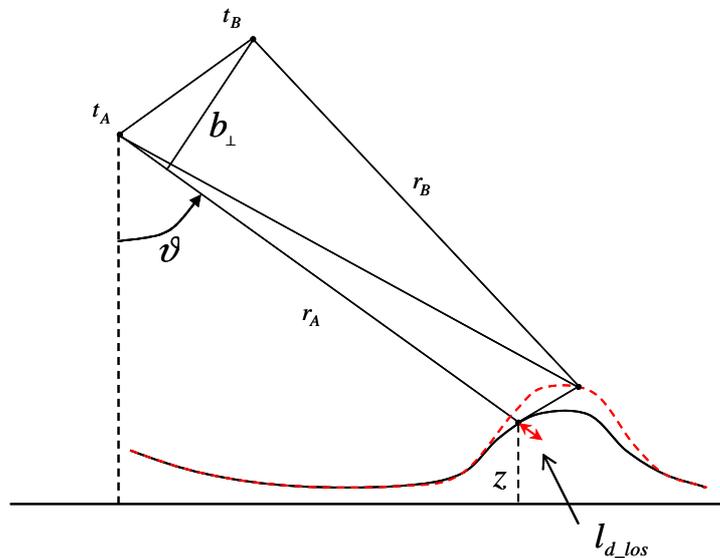


Figura 2.1. Scenario DInSAR nel piano ortogonale alla direzione di volo (azimuth).

2.2 Razionale della tecnica di Interferometria Differenziale SAR utilizzata: l'approccio SBAS

2.2.1 Razionale dell'analisi a bassa risoluzione spaziale

Consideriamo $N+1$ immagini SAR acquisite negli istanti di tempo (t_0, \dots, t_N) e registrate rispetto ad una geometria di riferimento (immagine master), a partire dalle quali generiamo M interferogrammi differenziali a bassa risoluzione spaziale (multi-look) con il vincolo di piccola baseline spaziale e temporale.

Il primo step che conduce alla generazione di mappe e serie temporali di deformazione mediante applicazione dell'algorithm SBAS consiste nello srotolamento della fase interferometrica (Phase Unwrapping, PhU) associata ad ogni singolo interferogramma. Tale operazione è necessaria, poiché la deformazione che si vuole misurare risulta essere direttamente collegata alla fase interferometrica, di cui, però, se ne conosce solo una determinazione principale (i valori di fase appartengono all'intervallo $[-\pi, \pi)$), e consente, pertanto, di recuperare la completa variazione di fase. In particolare, questa operazione viene effettuata solo su quei pixel che mostrano un valore di coerenza sufficientemente elevato, al fine di escludere i pixel fortemente affetti da rumore che non danno un contributo significativo alla conoscenza della fase.

L'espressione della componente di fase a bassa risoluzione del j -esimo interferogramma srotolato, calcolato a partire dalle due immagini SAR acquisite rispettivamente negli istanti t_A e t_B , può essere espressa secondo (Lanari et al., 2004) per il generico pixel di coordinate azimuth e range (x, r) nel seguente modo:

$$\delta\phi_j^{(LP)}(x, r) = \phi^{(LP)}(t_B, x, r) - \phi^{(LP)}(t_A, x, r) = \frac{4\pi}{\lambda_j} l_{d_LOS}^{(LP)} + \Delta n_j^{(LP)} \approx -\frac{4\pi}{\lambda_j} (r_B^{(LP)} - r_A^{(LP)}) + \Delta n_j^{(LP)} \quad (1)$$

dove $\phi^{(LP)}(\cdot)$ rappresenta la componente di fase a bassa risoluzione, λ_j la lunghezza d'onda utilizzata dal sensore SAR, $l_{d_LOS}^{(LP)}$ la componente di spostamento a bassa risoluzione, $r_A^{(LP)}$ e $r_B^{(LP)}$ le distanze tra il sensore ed il target agli istanti di tempo t_B e t_A calcolati rispetto all'istante t_0 , assunto come riferimento, e, infine, $\Delta n_j^{(LP)}$ la componente di rumore (Figura 2.1). Si noti che se nell'eq. (1) consideriamo solamente i punti coerenti, il termine $\Delta n_j^{(LP)}$ può essere trascurato.

L'eq. (1) definisce, dunque, per ogni pixel di coordinate azimuth e range (x, r) un sistema lineare di M equazioni (pari al numero di interferogrammi) in N incognite (pari al numero di acquisizioni meno uno dal momento che assumiamo $\phi(t_0, x, r) = 0$) che può essere scritto nella forma matriciale:

$$A\tilde{\phi}^{(LP)} = \delta\tilde{\phi}^{(LP)} \quad (2)$$

dove A è la matrice caratteristica del sistema (Berardino et al., 2002).

Il sistema in eq. (2) può essere facilmente risolto applicando il metodo della Decomposizione a Valori Singolari (SVD), che fornisce una soluzione ai minimi quadrati con il vincolo di norma minima, la cui soluzione può essere espressa nella seguente forma:

$$\phi^{(LP)}(t_n, x, r) \approx \frac{4\pi}{\lambda} d^{(LP)}(t_n, x, r) + \phi^{(atm)}(t_n, x, r) + \phi^{(top)}(x, r) \quad (3)$$

dove $d^{(LP)}(\cdot)$ rappresenta la componente a bassa risoluzione spaziale del segnale di deformazione al generico istante t_n ; il termine $\phi^{(atm)}(\cdot)$ tiene conto dei possibili artefatti atmosferici delle acquisizioni SAR, ed infine, il termine $\phi^{(top)}(\cdot)$ tiene conto degli eventuali artefatti topografici dovuti all'inesattezza del DEM utilizzato nella generazione degli interferogrammi differenziali.

Maggiori dettagli riguardo la tecnica SBAS a bassa risoluzione spaziale possono essere trovati in Berardino et al. (2002) e Pepe et al. (2005).

2.2.2 Razionale dell'analisi ad alta risoluzione spaziale

A valle dell'elaborazione a bassa risoluzione spaziale, gli interferogrammi differenziali a piena risoluzione sono depurati delle componenti di segnale a bassa risoluzione spaziale (eq. (1)), in modo da isolare la sola componente ad alta risoluzione (Figura 2.2).

La fase residua ad alta risoluzione così ottenuta per il generico pixel di coordinate (x, r) appartenente al j -esimo interferogramma può essere decomposta nei seguenti termini (Lanari et al., 2004):

$$\delta\phi_j^{(HP)}(x, r) = [(t_B - t_A) \cdot v^{(HP)}(x, r) + \beta^{(HP)}(t_B, x, r) - \beta^{(HP)}(t_A, x, r)] + \Delta z_{topo}^{(HP)}(x, r) + \Delta n_j(x, r) \quad (4)$$

dove $v^{(HP)}(\cdot)$ rappresenta la velocità di deformazione, $\beta^{(HP)}(\cdot)$ la componente non lineare dello spostamento, $\Delta z_{topo}^{(HP)}(\cdot)$ la componente legata alla topografia, e $\Delta n_j(\cdot)$ il termine di rumore.

L'approccio SBAS a piena risoluzione consente, a partire dal sistema definito dall'eq. (4) per il set degli M interferogrammi, di stimare le componenti di velocità $v^{(HP)}(\cdot)$ e di topografia residua $\Delta z_{topo}^{(HP)}(\cdot)$, massimizzando il fattore di coerenza temporale (si veda Lanari et al. (2004) per la definizione), e successivamente, di ricavare la componente di deformazione non lineare $\beta^{(HP)}(\cdot)$, risolvendo il sistema di eq. (4) attraverso il metodo SVD.

In questo modo, per ogni pixel di coordinate (x, r) e per ogni istante di tempo t_n si ottiene una stima della componente ad alta risoluzione spaziale del segnale di deformazione.

Ovviamente, per ottenere la misura della deformazione totale, a piena risoluzione spaziale, $\delta disp^{tot}$, è sufficiente sommare i contributi di bassa e di alta risoluzione spaziale:

$$\delta displ^{tot}(x, r) = \delta displ^{(LP)}(x, r) + \delta displ^{(HP)}(x, r) \quad (5)$$

Maggiori dettagli sulla tecnica SBAS a piena risoluzione possono essere trovati in Lanari et al. (2004).

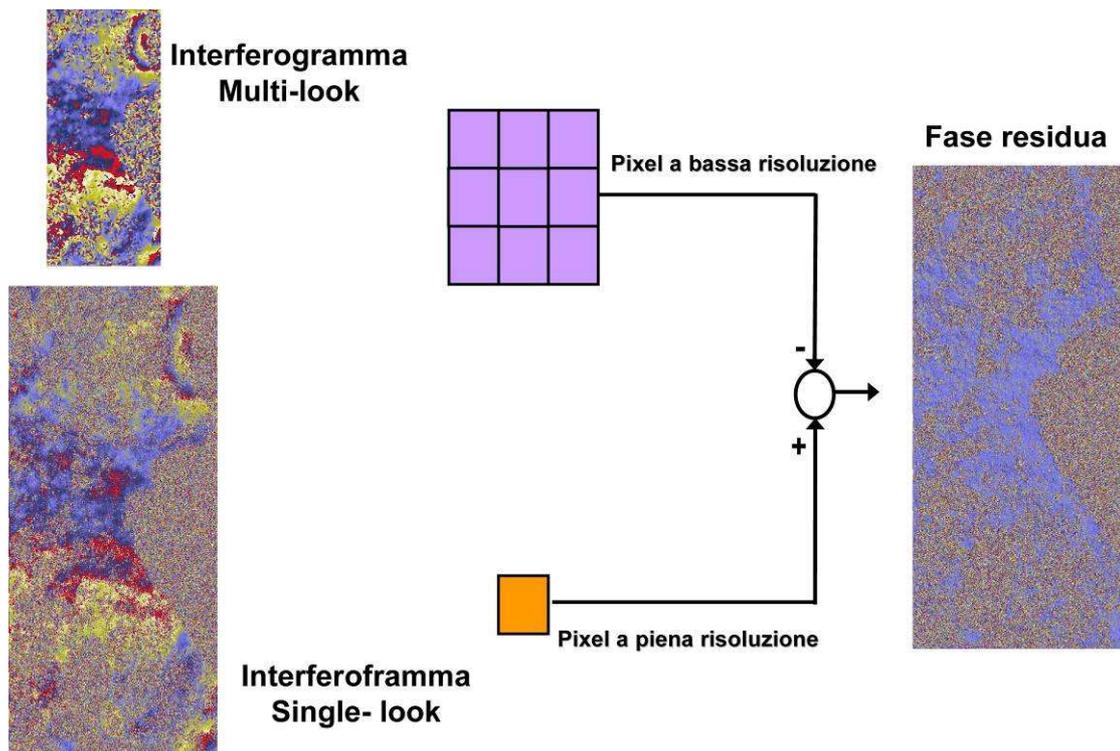


Figura 2.2. Schema riassuntivo del procedimento per l'estrazione della fase residua ad alta risoluzione spaziale.

2.3 Attività svolte

L'attività svolta nell'ambito del progetto “Atlante Geotermico” durante il primo anno ha riguardato l'analisi a bassa ed alta risoluzione spaziale delle deformazioni superficiali avvenute nel periodo 1992-2010 in due aree localizzate nell'Italia Meridionale: Ischia e Mondragone.

A tal fine, sono stati selezionati dai cataloghi dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) 155 dati raw (vedi Tabella 2.1) acquisiti dai sensori ERS-1/2 ad ENVISAT (track 36, frame 2781) lungo orbite discendenti. In Figura 2.3 è mostrata l'immagine modulo SAR dell'area analizzata relativa al dato acquisito dal sensore ERS-2 in data 22-04-1999.

L'elaborazione del dataset selezionato può essere suddivisa in tre step principali: la generazione degli interferogrammi differenziali ad alta e bassa risoluzione (paragrafo 2.3.1), l'inversione degli interferogrammi a bassa risoluzione spaziale (paragrafo 2.3.2) e l'inversione degli interferogrammi ad alta risoluzione spaziale (paragrafo 2.3.3); entrambe le inversioni sono state effettuate tramite la tecnica SBAS ed hanno consentito, rispettivamente, la generazione di mappe e serie storiche di deformazione alla scala regionale (Berardino et al., 2002) ed alla scala locale (Lanari et al., 2004).

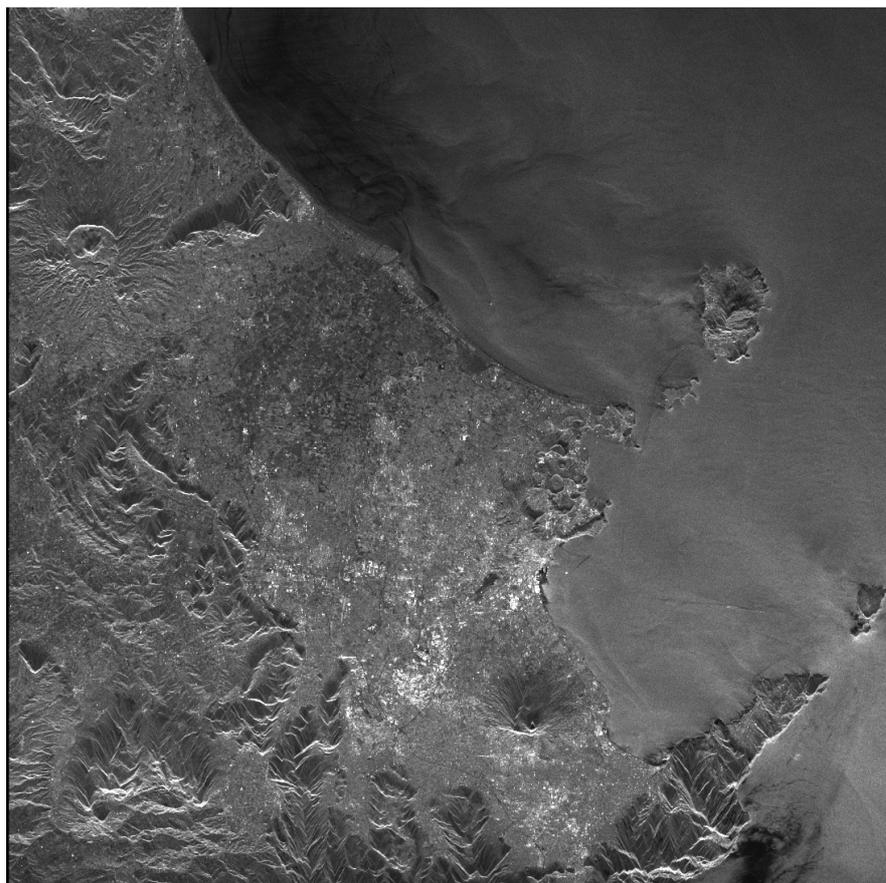


Figura 2.3. Immagine SAR modulo relativa all'acquisizione ERS-2 del 22-04-1999.

Tabella 2.1. Elenco delle acquisizioni ERS-1/2 ed ENVISAT (track 36, frame 2781).

Sensore	Giorno	Mese	Anno	Baseline perpendicolare [m]						
ERS	08	06	1992	70,26	ERS	12	12	2002	-531,51	
ERS	17	08	1992	-250,35	ENV	05	06	2003	-394,21	
ERS	26	10	1992	-78,84	ENV	10	07	2003	-457,88	
ERS	30	11	1992	27,8	ENV	14	08	2003	-446,03	
ERS	08	02	1993	-228,37	ERS	14	08	2003	-66,6	
ERS	15	03	1993	-27,2	ENV	18	09	2003	16,55	
ERS	19	04	1993	121,54	ENV	23	10	2003	127,28	
ERS	24	05	1993	-126,46	ENV	27	11	2003	-233,24	
ERS	28	06	1993	-136,43	ENV	05	02	2004	-235,59	
ERS	02	08	1993	26,88	ERS	05	02	2004	-372,53	
ERS	06	09	1993	39,52	ENV	11	03	2004	-6,68	
ERS	11	10	1993	-84,34	ENV	15	04	2004	-63	
ERS	20	12	1993	211,66	ENV	20	05	2004	-63,65	
ERS	12	04	1995	-155,71	ENV	24	06	2004	-233,08	
ERS	17	05	1995	-217,66	ENV	29	07	2004	-64,45	
ERS	21	06	1995	-202,25	ENV	02	09	2004	52,73	
ERS	26	07	1995	6,83	ERS	02	09	2004	36,12	
ERS	27	07	1995	-18,68	ENV	07	10	2004	-100,88	
ERS	30	08	1995	-121,13	ERS	07	10	2004	271,08	
ERS	31	08	1995	-145,41	ENV	11	11	2004	-430,43	
ERS	05	10	1995	195,37	ENV	31	03	2005	-464,89	
ERS	09	11	1995	-35,05	ENV	05	05	2005	158,17	
ERS	14	12	1995	-24,45	ERS	05	05	2005	-35,78	
ERS	17	01	1996	-305,56	ERS	09	06	2005	65,43	
ERS	21	02	1996	151,25	ENV	14	07	2005	121,05	
ERS	22	02	1996	173,16	ERS	18	08	2005	-179,55	
ERS	27	03	1996	-348,46	ENV	22	09	2005	-136,42	
ERS	28	03	1996	-385,46	ERS	22	09	2005	-70,26	
ERS	01	05	1996	212,65	ENV	27	10	2005	-8,77	
ERS	02	05	1996	166,19	ERS	27	10	2005	18,28	
ERS	06	06	1996	-301,05	ENV	01	12	2005	-262,47	
ERS	15	08	1996	-156,73	ERS	01	12	2005	-471,26	
ERS	19	09	1996	-89,08	ENV	05	01	2006	-43,87	
ERS	24	10	1996	136,15	ENV	09	02	2006	-386,07	
ERS	28	11	1996	217,95	ENV	16	03	2006	-27,41	
ERS	02	01	1997	-174,48	ENV	25	05	2006	-297,09	
ERS	06	02	1997	-37,56	ERS	25	05	2006	-95,2	
ERS	13	03	1997	-110,21	ERS	29	06	2006	-207,14	
ERS	17	04	1997	144,93	ENV	03	08	2006	199,53	
ERS	22	05	1997	-103,17	ERS	03	08	2006	107,93	
ERS	31	07	1997	-80,82	ENV	07	09	2006	-16,44	
ERS	04	09	1997	67,87	ENV	16	11	2006	-525,87	
ERS	09	10	1997	39,8	ENV	21	12	2006	-77,33	
ERS	13	11	1997	-223,52	ERS	21	12	2006	-515,08	
ERS	18	12	1997	-264,99	ERS	25	01	2007	-164,11	
ERS	26	02	1998	-551,2	ERS	01	03	2007	-130,03	
ERS	07	05	1998	119,89	ENV	10	05	2007	-66,77	
ERS	11	06	1998	233,83	ENV	19	07	2007	-203,3	
ERS	16	07	1998	-339,91	ERS	23	08	2007	111,43	
ERS	24	09	1998	-23,64	ENV	01	11	2007	-120,89	
ERS	29	10	1998	95,89	ENV	06	12	2007	-360,61	
ERS	18	03	1999	-77,19	ENV	14	02	2008	-359,34	
ERS	22	04	1999	0	ENV	20	03	2008	-95,34	
ERS	27	05	1999	92,97	ENV	24	04	2008	-147,31	
ERS	01	07	1999	13,27	ENV	29	05	2008	-197,84	
ERS	05	08	1999	-53,62	ENV	03	07	2008	-118,78	
ERS	09	09	1999	-324,45	ENV	07	08	2008	-7,01	
ERS	14	10	1999	-241,28	ENV	11	09	2008	-346,15	
ERS	23	12	1999	-259,25	ENV	16	10	2008	-240,33	
ERS	27	01	2000	-179,52	ENV	20	11	2008	-290,35	
ERS	01	03	2000	-384,05	ENV	25	12	2008	-193,68	
ERS	02	03	2000	-312,88	ENV	29	01	2009	-404,26	
ERS	06	04	2000	-163,81	ENV	05	03	2009	-108,61	
ERS	11	05	2000	298,32	ENV	14	05	2009	-77,33	
ERS	15	06	2000	-93,13	ENV	18	06	2009	-92,28	
ERS	20	07	2000	-285,47	ENV	23	07	2009	-152,99	
ERS	24	08	2000	80,37	ENV	27	08	2009	-5,37	
ERS	28	09	2000	-33,59	ENV	01	10	2009	-324,46	
ERS	02	11	2000	-190,02	ENV	05	11	2009	-160,15	
ERS	07	12	2000	-647,65	ENV	10	12	2009	-342,7	
ERS	11	01	2001	-118,67	ENV	14	01	2010	-226,49	
ERS	09	08	2001	279,67	ENV	18	02	2010	-312	
ERS	13	09	2001	-2,59	ENV	25	03	2010	15,09	
ERS	31	01	2002	-229,91	ENV	29	04	2010	-54,35	
ERS	11	04	2002	468,78	ENV	03	06	2010	-135,2	
ERS	29	08	2002	46,47	ENV	12	08	2010	-121,72	
ERS	03	10	2002	-236,18	ENV	16	09	2010	-63,1	
ENV	07	11	2002	-336,32						

2.3.1 Generazione di interferogrammi differenziali

I principali passi che hanno consentito la generazione degli interferogrammi differenziali a bassa ed alta risoluzione spaziale a partire dal dataset selezionato sono di seguito elencati:

- generazione di 155 immagini focalizzate Single Look Complex (SLC) a partire da ciascun dato raw;
- recupero delle informazioni orbitali di precisione prodotte dall'Università di Delft, Olanda (<http://www.deos.tudelft.nl/ers/precorbs/>);
- recupero delle informazioni topografiche mediante l'utilizzo di un Modello Digitale di Elevazione (DEM) a 90m, generato dalla Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), (<http://srtm.csi.cgiar.org/Index.asp>);
- co-registrazione delle 155 SLC rispetto alla geometria scelta come riferimento, sfruttando le informazioni topografiche dell'area esaminata;
- generazione di 461 interferogrammi differenziali a bassa (100m x 100m) ed alta (5m x 20m) risoluzione spaziale con baseline spaziale massima di 400 metri.

In Figura 2.4 è mostrata la distribuzione delle coppie interferometriche selezionate nel piano baseline temporale/baseline spaziale.

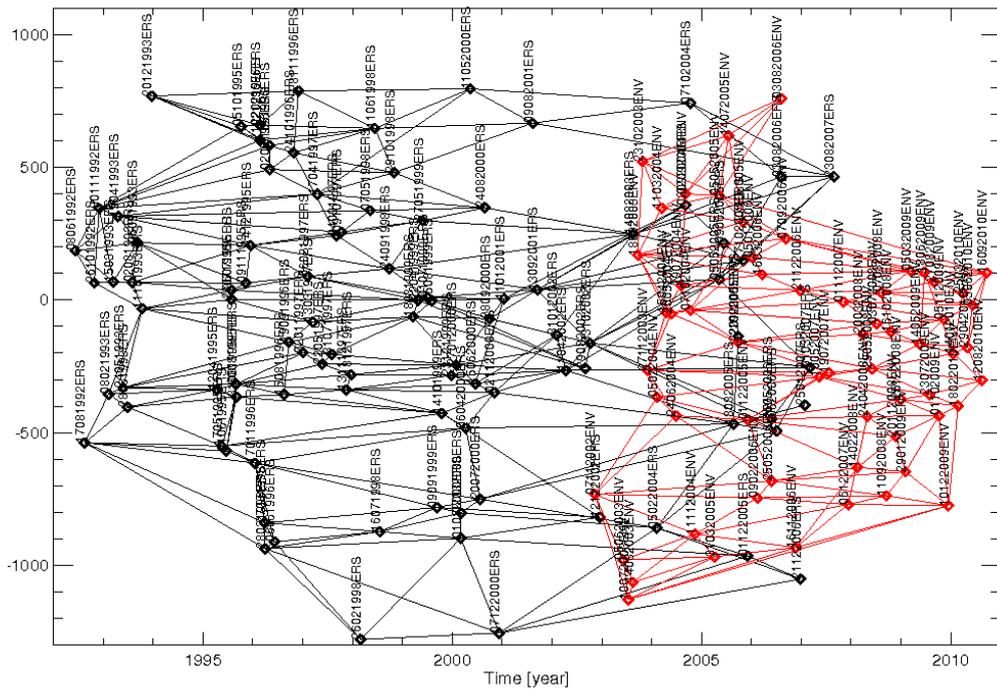


Figura 2.4. Distribuzione nel piano baseline temporale/baseline spaziale delle coppie interferometriche selezionate. Ogni quadrato nero o rosso rappresenta un'acquisizione SAR, rispettivamente ERS o ENVISAT; i segmenti neri o rossi rappresentano le coppie interferometriche tra due acquisizioni ERS o ENVISAT.

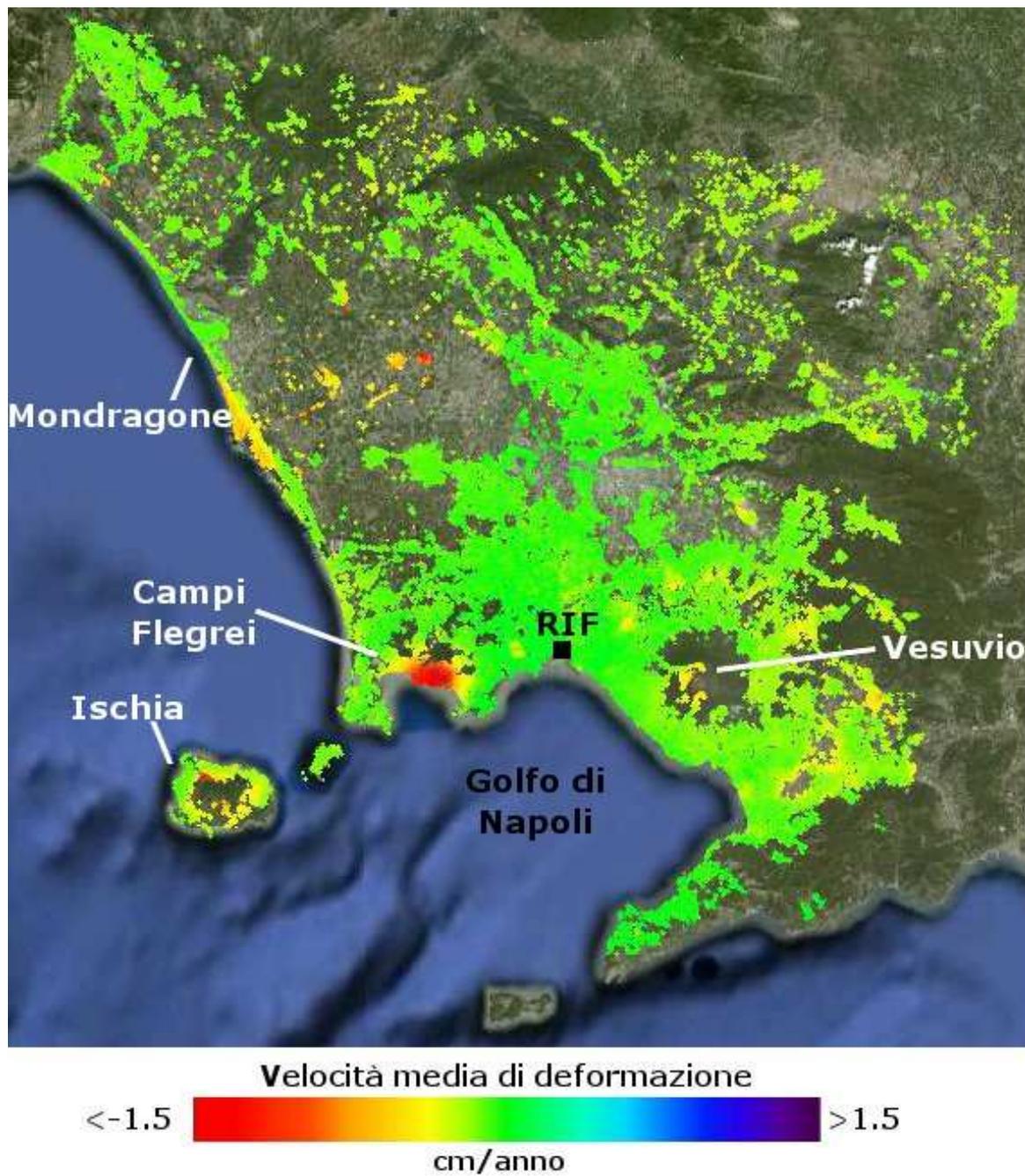


Figura 2.5. Mappa di velocità di deformazione a bassa risoluzione spaziale del Golfo di Napoli. La mappa di velocità è stata geocodificata e sovrapposta ad un'immagine ottica dell'area esaminata; con la sigla RIF è stata indicata la zona assunta come riferimento per le misure di spostamento.

2.3.2 Analisi a bassa risoluzione spaziale

In seguito alla generazione degli interferogrammi differenziali selezionati si è proceduto con lo srotolamento delle fasi interferometriche associate ai 461 interferogrammi differenziali prodotti, la generazione delle serie storiche di deformazione (che ha previsto anche la stima dell'errore topografico del DEM utilizzato), ed infine la geocodifica dei prodotti finali nella proiezione cartografica di riferimento.

In Figura 2.5 è mostrata la mappa della velocità media di deformazione a bassa risoluzione spaziale (100m x 100m) relativa all'intero Golfo di Napoli che include le due aree da esaminare. L'informazione di velocità di deformazione è stata geocodificata e sovrapposta ad un'immagine ottica dell'area; le zone dove la misura di deformazione è affetta da rumore di decorrelazione sono escluse dalla mappa a falsi colori; il riferimento spaziale rispetto al quale sono state calcolate le misure di deformazione è localizzato in prossimità del porto della città di Napoli ed è indicato in figura con l'abbreviazione RIF. Come è possibile notare dall'analisi di Figura 2.5, non sono presenti pattern di deformazione regionali, ma solo spostamenti locali più o meno estesi spazialmente relativi principalmente ad attività vulcanica, subsidenze, fenomeni di dissesto idrogeologico, attività antropiche, ecc.

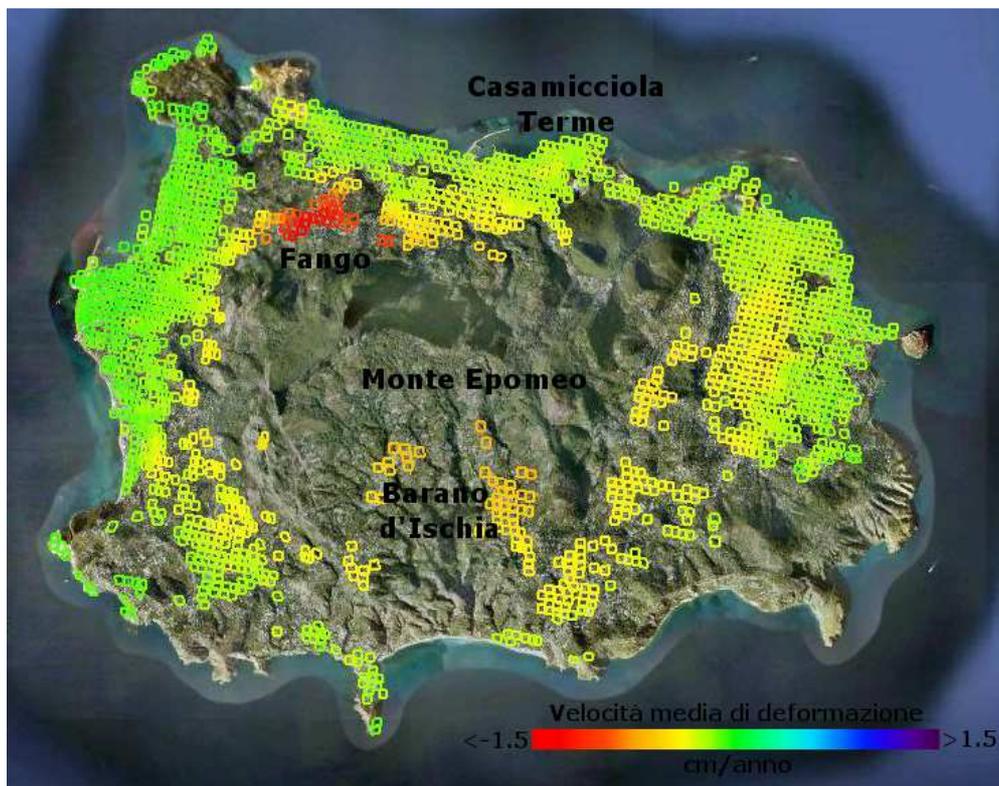


Figura 2.6. Mappa di velocità media di deformazione a bassa risoluzione spaziale dell'isola di Ischia, geocodificata e sovrapposta ad un'immagine ottica dell'isola.

Per focalizzare la nostra attenzione sulla prima delle due aree di interesse, in Figura 2.6 è mostrato uno zoom della mappa di velocità dell'isola di Ischia. Dall'analisi di tale immagine, si può notare un significativo pattern di deformazione sulle aree coerenti dei fianchi del Monte Epomeo e una deformazione più localizzata corrispondente alla nota frana di Fango.

Per meglio visualizzare le deformazioni misurate, anche in relazione alla topografia dell'isola, in Figura 2.7a è mostrato uno zoom della mappa di velocità di Figura 2.6 sovrapposta ad un'immagine ottica 3D dell'isola (che ne mostra i settori nord, nord-ovest e sud). In Figura 2.7b e 2.7c mostriamo l'evoluzione temporale dello spostamento di due pixel, indicati con B e C in Figura 2.7a e localizzati in zona Fango (settore nord- occidentale) e Barano d'Ischia (settore meridionale). I due plot mostrano spostamenti in linea di vista di circa 13 e 22 cm relativamente al periodo di osservazione. Entrambi sono caratterizzati da un andamento lineare, imputabile a fenomeni gravitativi stazionari che producono uno scivolamento lento dei versanti del Tufo Verde a nord e dei prodotti da debris-flow che formano il versante meridionale del Monte Epomeo.

Un'altra area di interesse nell'isola di Ischia è Casamicciola Terme, situata nel settore settentrionale dell'isola. In Figura 2.7d è mostrato il plot della serie storica di deformazione per un pixel localizzato in tale area ed indicato con D in Figura 2.7a. Il plot mostra uno spostamento complessivo di circa 8 cm nell'intero periodo di osservazione ed una velocità media di deformazione di circa 4-5 mm/anno. Anche in questo caso, il trend lineare osservato potrebbe essere associato a fenomeni gravitativi di versante. Tuttavia, essendo le pendenze dell'area in esame significativamente più basse rispetto ai due casi precedenti, è possibile ipotizzare, data anche la natura idrotermale dell'area e l'alta concentrazione di stazioni termali, un processo di alterazione idrotermale dei depositi basali che avrebbero favorito spostamenti con una significativa componente orizzontale lungo le deboli pendenze dagli strati basali che costituiscono il substrato dell'isola.

Per quanto riguarda l'analisi a bassa risoluzione spaziale della zona di Mondragone, in Figura 2.8a è mostrato uno zoom della mappa di velocità media di Figura 2.5. L'analisi di tale mappa e delle serie storiche di deformazione (a titolo di esempio si veda il plot in Figura 2.8b) evidenzia un pattern deformativo caratterizzato da un trend lineare nel tempo (2 cm di spostamento in linea di vista nel periodo esaminato con un rate di circa 1mm/anno), imputabile probabilmente alla subsidenza che interessa l'intera Piana Campana (che è dell'ordine di 2-3 mm/anno). Al contrario, in una zona estremamente localizzata di Mondragone, in corrispondenza dei pixel vicini a quello indicato in Figura 2.8a con C, si misura uno spostamento di circa 4-5 cm nel periodo esaminato, si veda il plot riportato in Figura 2.8c. Tale comportamento potrebbe essere associato a fenomeni di sfruttamento delle risorse idriche (per esempio, pozzi), ma allo stato attuale non disponiamo di tematismi cartografici per confermare/confutare tale ipotesi.

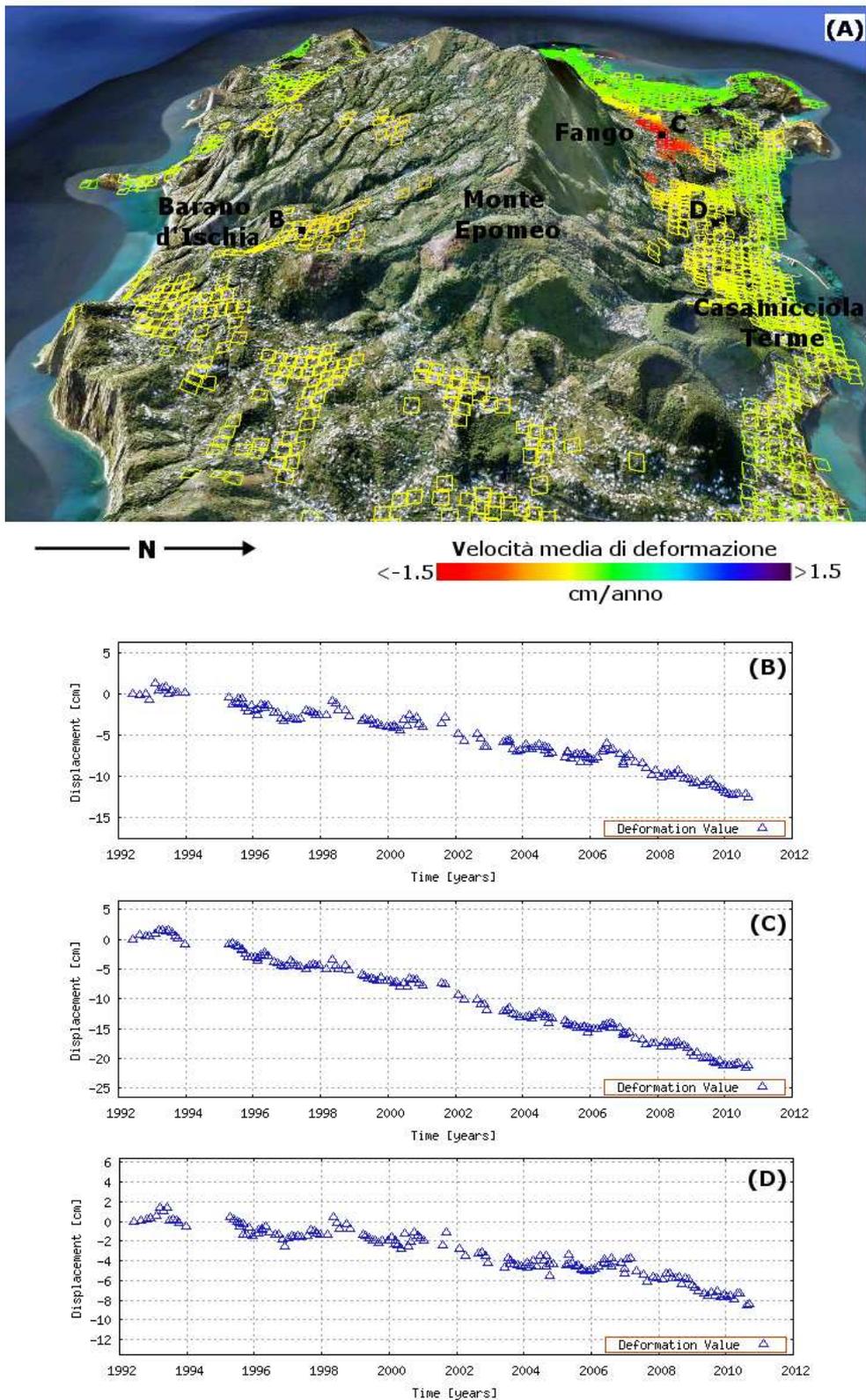


Figura 2.7. (a) Mappa di velocità media di deformazione a bassa risoluzione spaziale dell'isola di Ischia sovrapposta ad un'immagine ottica 3D. (b-d) Serie storiche di deformazione relative ai tre pixel indicati con B, C e D in Figura 2.7a e situati nelle località di Barano d'Ischia, Fango e Casamicciola Terme.

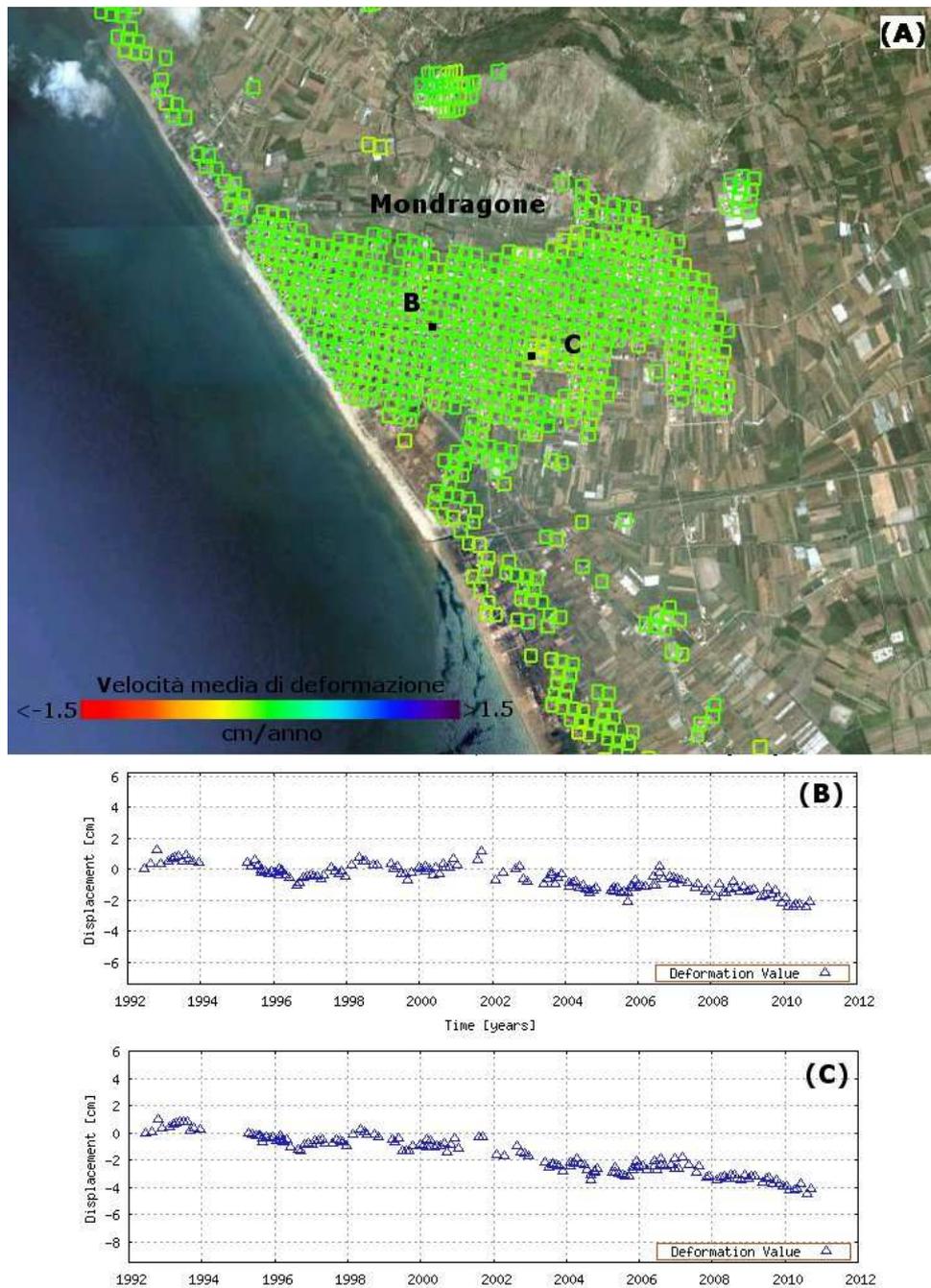


Figura 2.8. (a) Mappa di velocità media di deformazione a bassa risoluzione spaziale della zona di Mondragone sovrapposta ad un'immagine ottica dell'area. (b-c) Serie storiche di deformazione relative ai due pixel indicati B e C in Figura 2.8a.

2.3.3 Analisi ad alta risoluzione spaziale

Dall'analisi alla scala regionale si è passati successivamente a quella locale per studiare spostamenti localizzati relativi a singole strutture nelle due aree selezionate (Ischia e Mondragone).

A tal fine, sono stati generati 461 interferogrammi differenziali a piena risoluzione, che sono stati successivamente depurati delle componenti di segnale a bassa risoluzione spaziale (secondo quanto descritto nel paragrafo 2.2.2). La fase residua ad alta risoluzione così ottenuta è stata utilizzata come dato di partenza per la generazione delle mappe di velocità e delle serie storiche di deformazione ad alta risoluzione spaziale, consentendo di misurare lo spostamento delle singole strutture rispetto a quello medio del terreno.

Inoltre, le mappe e le serie storiche ad alta risoluzione sono state sommate alle corrispondenti mappe e serie storiche di deformazione a bassa risoluzione spaziale. Quest'ultima operazione ha consentito l'analisi di pattern deformativi localizzati a carico di singoli edifici e strutture antropiche.

Per quanto riguarda la prima delle due aree di interesse, in Figura 2.9 è mostrata la mappa geocodificata della velocità di deformazione calcolata a piena risoluzione spaziale (ottenuta, quindi, sommando il contributo di bassa e di alta risoluzione) dell'isola di Ischia, sovrapposta ad un'immagine ottica dell'isola.

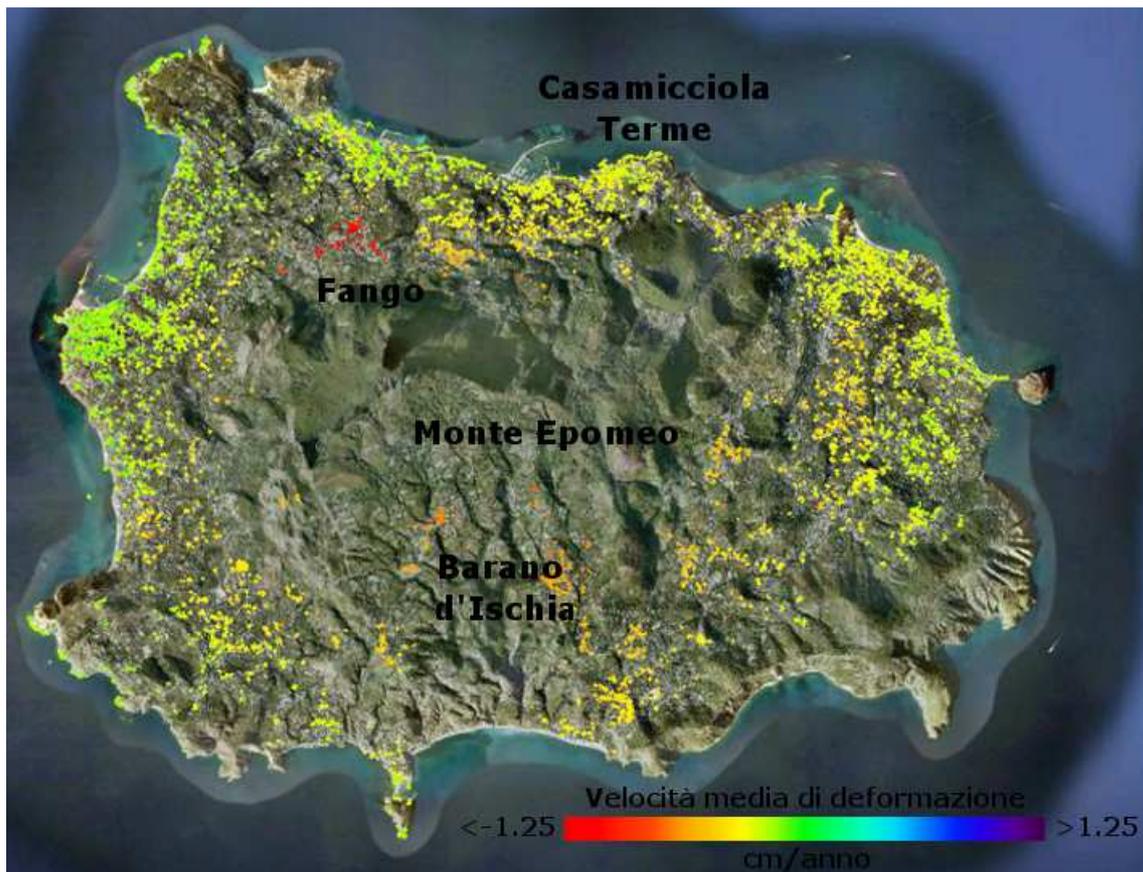


Figura 2.9. Mappa di velocità media di deformazione a piena risoluzione spaziale dell'isola di Ischia, geocodificata e sovrapposta ad un'immagine ottica dell'isola.

L'analisi di tale mappa ha rivelato la presenza di un numero molto limitato di edifici e infrastrutture soggette a fenomeni deformativi molto localizzati.

In Figura 2.10 ne è mostrato un esempio. In particolare, in Figura 2.10a è riportato uno zoom della mappa di velocità di Figura 2.9 relativo all'area di Casamicciola Terme. Tale mappa mostra che l'edificio indicato in Figura 2.10a con una freccia rossa è affetto da un fenomeno di deformazione. Il plot di Figura 2.10b mostra l'evoluzione temporale della deformazione di un pixel localizzato sull'edificio in esame, per il quale si misurano 10 cm di spostamento in linea di vista nel periodo considerato. Si sottolinea che tale plot mostra lo spostamento totale a cui è soggetto l'edificio. Per individuare lo spostamento della struttura rispetto a quello medio del terreno, in Figura 2.10c è mostrato il plot della serie storica di deformazione relativa alla sola componente di deformazione ad alta risoluzione spaziale per lo stesso pixel. L'analisi di tale plot rivela un pattern deformativo caratterizzato da un trend lineare nel tempo (5 cm in linea di vista nel periodo in esame con un rate di circa 2-3mm/anno).

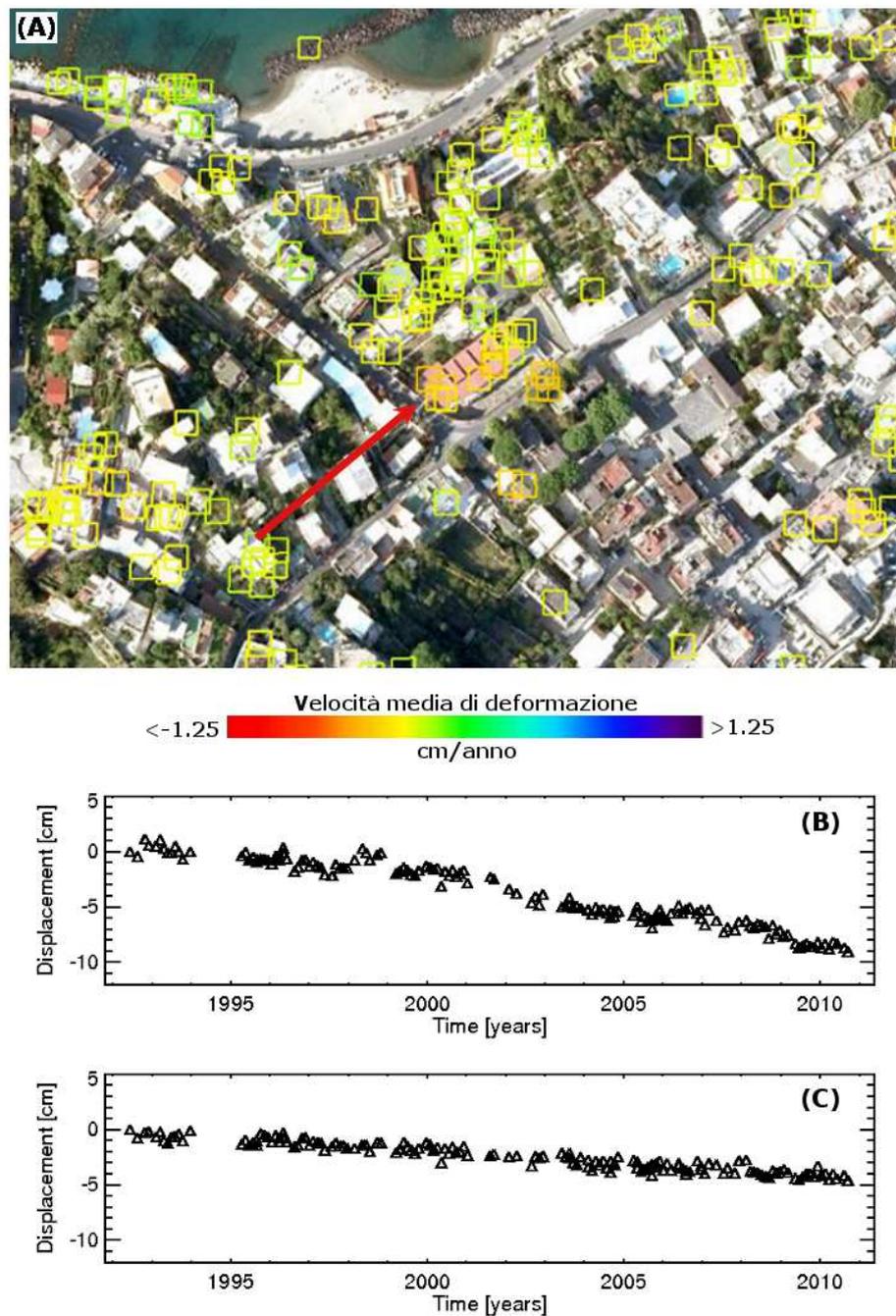


Figura 2.10. (a) Zoom della mappa di velocità media di deformazione a piena risoluzione spaziale dell'area di Casamicciola Terme, sovrapposta ad un'immagine ottica della zona. (b) Serie storica di deformazione a piena risoluzione spaziale relativa ad un pixel localizzato sull'edificio indicato dalla freccia rossa in Figura 2.10a. (c) Serie storica di deformazione ad alta risoluzione spaziale relativa allo stesso pixel di cui è mostrato il plot in Figura 2.10b.

Un'analisi del tutto analoga è stata condotta per l'area di Mondragone.

In Figura 2.11 è mostrata la mappa geocodificata della velocità di deformazione calcolata a piena risoluzione spaziale e sovrapposta ad un'immagine ottica della zona. Come si può notare, anche in questo caso sono presenti pochi segnali deformativi a carico di singoli edifici o strutture.

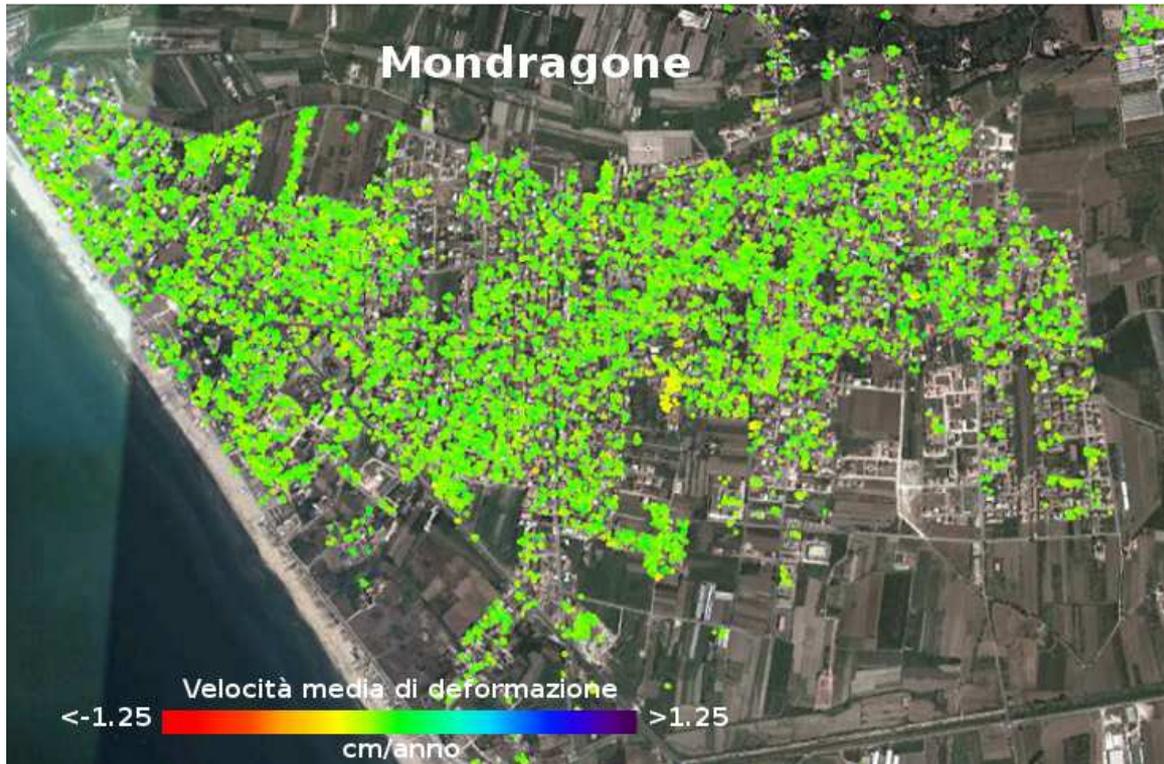


Figura 2.11. Mappa di velocità media di deformazione a piena risoluzione spaziale della zona di Mondragone, geocodificata e sovrapposta ad un'immagine ottica dell'isola.

Per focalizzare la nostra attenzione su tali edifici, nelle Figure 2.12a e 2.12b sono riportate la mappa di velocità di deformazione a piena risoluzione spaziale e la corrispondente serie temporale, quest'ultima relativa ad un pixel localizzato in corrispondenza di una struttura nella città di Mondragone (individuata dalla freccia rossa di Figura 2.12a). Per tale struttura si misura uno spostamento lungo la linea di vista di circa 6cm nel periodo esaminato. Come nel caso dell'edificio di Casamicciola Terme, per mostrare qual è lo spostamento della struttura rispetto a quello medio del terreno, in Figura 2.12c è riportato il plot della serie storica di deformazione relativa alla sola componente di deformazione ad alta risoluzione. L'analisi di tale plot rivela un pattern deformativo caratterizzato da un trend lineare nel tempo (2-3 cm in linea di vista nel periodo in esame con un rate di circa 1-2mm/anno).

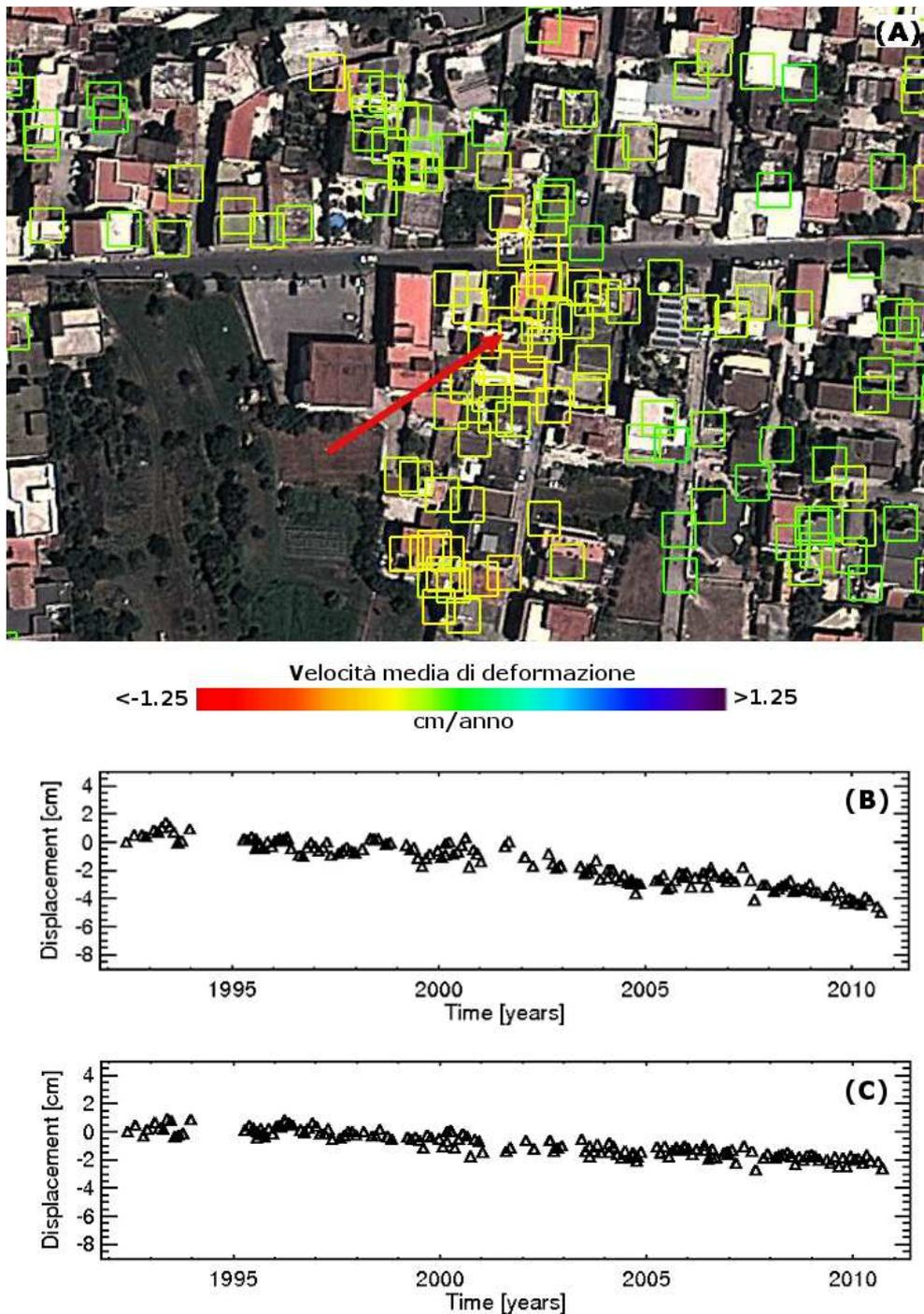


Figura 2.12. (a) Zoom della mappa di velocità media di deformazione a piena risoluzione spaziale dell'area di Mondragone, sovrapposta ad un'immagine ottica della zona. (b) Serie storica di deformazione a piena risoluzione spaziale relativa ad un pixel localizzato sull'edificio indicato dalla freccia rossa in Figura 2.12a. (c) Serie storica di deformazione ad alta risoluzione spaziale relativa allo stesso pixel di cui è mostrato il plot in Figura 2.12b.

3. Attività infrarosso termico

In natura il trasporto di energia avviene per convezione, conduzione e irraggiamento. Benché questi tre processi siano fondamentalmente diversi fra loro, la temperatura è un elemento comune a tutti e tre.

Solo mediante l'utilizzo delle osservazioni satellitari è possibile ottenere misure della temperatura di superficie a scala regionale o globale da utilizzare nello studio dei processi ambientali.

Con *temperatura di superficie* in Telerilevamento ci si riferisce alla temperatura radiometrica o temperatura di corpo nero, derivata dalle misure di *radianza* L , intesa come il valore del flusso radiante per unità di superficie e di angolo solido di osservazione, misurata in $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$.

La *temperatura radiometrica* è la temperatura che avrebbe un corpo nero con una radianza pari a quella misurata dal sensore. La *temperatura termodinamica* T (o assoluta) è invece la quantità macroscopica che esprime le condizioni di equilibrio definite dalla legge ideale dei gas:

$$PV = NkT$$

dove P è la pressione, V il volume, N il numero di molecole, k la costante di Boltzmann (1.38054×10^{-23} joule/K).

Una interpretazione statistica della temperatura termodinamica porta alla definizione di temperatura cinetica, basata sulla energia cinetica delle particelle. La relazione fra temperatura radiometrica e temperatura assoluta è legata alla emissività.

Mentre la temperatura termodinamica è una misura puntuale, la temperatura radiometrica è relativa dell'area "inquadrata" dall'*IFOV (campo totale di vista)* del sensore, che normalmente include diversi tipi di superficie, ognuno con le proprie caratteristiche di temperatura termodinamica ed emissività. Anche se la radiazione misurata nell'IR termico proviene approssimativamente dai primi 50 μm degli oggetti osservati, essa può essere indicativa, in certe condizioni, della temperatura interna di un corpo. Queste misure indirette di temperatura radiometrica rappresentano l'unico modo praticabile per ottenere misure sullo stato termico di superfici complesse, quali i suoli e la copertura vegetale (Brivio et al., 2006).

La determinazione della temperatura di superficie nel Telerilevamento si basa sull'*equazione di Planck* che mette in relazione l'energia raggianti emessa da un corpo nero (emissività $\varepsilon=1$) con la temperatura assoluta della superficie. Naturalmente le superfici reali non sono corpi neri e la loro emissività varia con la lunghezza d'onda ($0 < \varepsilon(\lambda) < 1$). Per questo la radianza spettrale L_λ misurata su una superficie può essere espressa come:

$$L_\lambda(T) = \varepsilon(\lambda) \frac{M_\lambda(T)}{\pi} = \varepsilon(\lambda) \frac{c_1 \lambda^{-5}}{\pi \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)} \quad [\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}]$$

dove c_1 e c_2 sono costanti, con $c_1 = 2\pi^5 h^6 c^2 / 15 \pi^3 = 3.741 \times 10^{-16} \text{ W m}^{-2}$ e con $c_2 = hc/k = 1.438 \times 10^{-2} \text{ m K}$. Supponendo che non ci siano attenuazioni, dovute alla presenza dell'atmosfera nel processo di trasferimento della radianza dalla superficie al sensore, la sua temperatura teoricamente può essere determinata mediante l'inversione dell'equazione di Planck:

$$T = \frac{c_2}{\lambda \ln \left[\frac{\varepsilon(\lambda)c_1}{\pi \lambda^5 M_\lambda(T)} + 1 \right]}$$

Poiché la determinazione della temperatura di superficie avviene normalmente attraverso le misure di radianza eseguite da aereo o da satellite, i principali effetti che vanno presi in considerazione nell'analisi del segnale di radianza acquisito dai sensori sono:

- la larghezza di banda dei sensori
- la geometria delle osservazioni
- l'emissività delle superfici
- gli effetti atmosferici.

I principali effetti atmosferici sono l'assorbimento, la diffusione che dà origine ad un'emissione dell'atmosfera verso il sensore e l'irradianza dell'atmosfera che viene riflessa dalla superficie. Nella finestra atmosferica dell'IR termico (8-14 μm), l'assorbimento e la diffusione dovute all'aerosol sono trascurabili e vengono di solito ignorati; anche l'ozono O_3 e l'anidride carbonica CO_2 hanno una influenza limitata, mentre il vapore acqueo H_2O , che è altamente variabile anche su scale temporali piccole, è il maggiore responsabile degli effetti atmosferici. Inoltre le superfici vengono osservate dai sensori posti sui satelliti secondo differenti geometrie di osservazione, per cui nella determinazione della temperatura radiometrica è necessario compensare per il diverso angolo di zenit. Infine l'emissività delle superfici terrestri, a differenza della superficie del mare, si discostano in modo significativo dall'unità e variano da sito a sito in funzione dell'eterogeneità della copertura con la vegetazione, l'umidità e la rugosità delle superfici (Fig. 3.1).

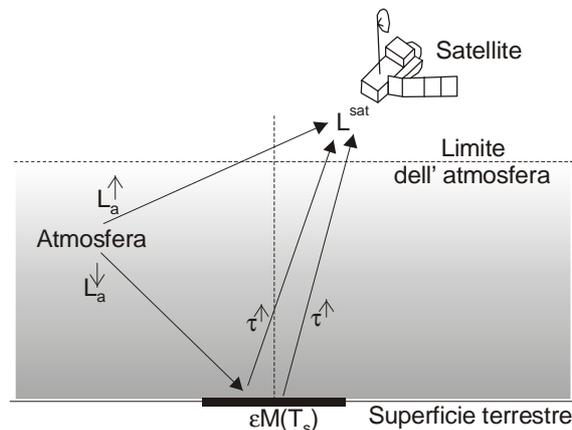


Fig. 3.1. Schema delle diverse componenti che influenzano il segnale radiometrico registrato del sensore nell'IR termico (Brivio et al., 2006).

Una formulazione del modello semplificato di trasferimento radiativo nell'IR termico, nell'ipotesi di superficie lambertiana, è data da:

$$L^{sat} = \tau^{\uparrow}(\theta) \varepsilon M(T_s) + L_a^{\uparrow}(\theta) + (1 - \varepsilon) \tau^{\uparrow}(\theta) L_a^{\downarrow}$$

dove L^{sat} : radianza misurata sul satellite
 ε : emissività della superficie

- $M(T_S)$: emittanza della superficie considerata corpo nero alla temperatura T_S
 $\tau(\theta)$: trasmittività dell'atmosfera secondo l'angolo di osservazione θ
 L_a : radianza atmosferica verso il basso e verso l'alto

Il primo termine denota la radianza di corpo nero emessa dalla superficie alla temperatura assoluta T_S , che è normalmente più calda dell'atmosfera, e attenuata lungo il percorso verso il sensore. Il secondo termine è la radianza dell'atmosfera verso l'alto (*atmospheric path radiance*) attraverso la colonna d'aria fra la superficie e il sensore, che varia fortemente con la struttura verticale dell'atmosfera (strati caldi e umidi aumentano il suo contributo). Il terzo termine rappresenta l'irradianza atmosferica integrata sull'emisfera, riflessa dalla superficie e attenuata lungo il percorso verso il sensore (per emissività prossima a 1 questo contributo è praticamente nullo).

La temperatura superficiale LST (*Land Surface Temperature*) viene considerata un indicatore chiave nello studio delle attività geologiche e geotermali al di sotto della crosta terrestre (Cassinis et al., 1984). Infatti, fin dalle prime missioni spaziali, quali ad esempio l'Heat Capacity Mapping Missions (HCMM) con lo strumento Heat capacity Mapping Radiometer (HCMR), le bande dell'infrarosso termico (*TIR*) sono state utilizzate per ottenere ed interpretare le informazioni sulla temperatura superficiale del nostro Pianeta (Kahle, 1976; Brivio et al., 1982).

3.1 Rilevamento termico da satellite e metodi per l'analisi delle anomalie termiche

Il primo passo di ogni tecnica per la determinazione della temperatura superficiale è la calibrazione radiometrica dei dati che permette di convertire in radianza spettrale L_λ i numeri indice DN che compongono l'immagine acquisita. Ciò avviene generalmente mediante una relazione lineare del tipo:

$$L_i^{sat} = a_i DN_i + b_i$$

dove L_i^{sat} è la radianza spettrale in [$W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$], mentre a_i e b_i sono i coefficienti di calibrazione che descrivono il guadagno e l'offset (rumore) del particolare sensore nella specifica banda spettrale i -esima.

I coefficienti di calibrazione, come già spiegato, sono derivati o dalla calibrazione del sensore effettuata a terra prima della messa in orbita o vengono aggiornati mediante un processo di calibrazione interna basata su misure regolari di uno più corpi neri di riferimento a bordo del satellite, come nel caso del sensore AATSR di Envisat. Essi sono memorizzati insieme alle informazioni ausiliarie fornite con le immagini o in alcuni casi, come per esempio l'AVHRR, sono riportati riga per riga nell'imagery file, anche se si mantengono sostanzialmente costanti per tutta una scena (Tab. 3.1).

Differenti considerazioni sull'equazione del trasferimento radiativo e differenti ipotesi semplificative degli effetti atmosferici, insieme con le caratteristiche dei diversi sensori disponibili, hanno portato alla formulazione di vari metodi per la determinazione della temperatura di superficie. Essi si possono distinguere in metodi basati su una singola osservazione e metodi basati su più osservazioni, siano essi spettrali o direzionali.

Tab. 3.1. Principali sensori satellitari operanti nell'infrarosso termico, fra 8 e 14 micron, utilizzati per la determinazione della temperatura di superficie.

Satellite - Sensore	# Canale e banda spettrale [μm]	Risoluzione geometrica al nadir [m]	Risoluzione radiometrica
METEOSAT - MVIRI	3 10.5 - 12.5	5000 m	8 bit
GMS - VISSR	3 10.5 - 11.5	5000 m	8 bit
	4 11.5 - 12.5	5000 m	8 bit
NOAA - AVHRR	4 10.3 - 11.3	1100 m	10 bit
	5 11.5 - 12.5	1100 m	10 bit
Envisat - AATSR	6 10.4 - 11.3	1000 m	12 bit
	7 11.5 - 12.5	1000 m	12 bit
TERRA - MODIS	29 8.40 - 8.70	1000 m	12 bit
	31 10.78 - 11.28	1000 m	12 bit
	32 11.77 - 12.27	1000 m	12 bit
	33 13.185 - 13.485	1000 m	12 bit
TERRA - ASTER	10 8.125 - 8.475	90 m	12 bit
	11 8.475 - 8.825	90 m	12 bit
	12 8.925 - 9.275	90 m	12 bit
	13 10.25 - 10.95	90 m	12 bit
	14 10.95 - 11.65	90 m	12 bit
Landsat - ETM+	6 10.40 - 12.50	60 m	8 bit

3.1.1 Metodi basati su osservazioni spettrali multiple: la tecnica di split-window

Questi metodi si basano sul fatto che la finestra atmosferica dell'IR termico (8-14 μm) è ampia abbastanza da permettere di eseguire osservazioni spettrali multiple. La suddivisione in più intervalli della finestra spettrale dell'IR termico (split-window) serve per correggere gli effetti dell'atmosfera sulle misure di radianza acquisite dal sensore satellitare, sfruttando le proprietà di assorbimento differenziale da parte dell'atmosfera in due bande spettrali diverse all'interno della stessa finestra atmosferica. La temperatura di superficie viene ottenuta quindi come una combinazione lineare delle temperature radiometriche determinate nei due canali di osservazione. Il metodo assume che la linearità della relazione derivi dalla linearizzazione dell'equazione della radiazione di Planck (generalmente una buona approssimazione) e dalla linearità delle variazioni della trasmittanza dell'atmosfera con la quantità di vapore acqueo contenuto nella colonna di atmosfera (spesso un'approssimazione non molto buona).

Nel caso di superfici d'acqua, mare e oceano, poiché i valori di emissività sono molto prossimi a 1 e variano poco, la superficie e l'atmosfera sono disaccoppiati e possono essere trattati in modo indipendente. Nel caso della superficie terrestre, dove l'emissività può assumere valori anche molto più bassi di quelli dell'acqua e dove essa varia in modo significativo con l'eterogeneità della

copertura superficiale, la superficie e l'atmosfera costituiscono un unico sistema. Il problema della determinazione della temperatura di superficie viene generalmente risolto senza prendere in considerazione separatamente l'emissività o il vapore acqueo, ma considerando i loro effetti in modo congiunto.

La formulazione base dell'algoritmo di split-window è la seguente:

$$T_S = T_{b1} + a(T_{b1} - T_{b2}) + b$$

dove T_s : temperatura della superficie (temperatura termodinamica)
 T_{b1} : temperatura radiometrica del canale più trasparente
 T_{b2} : temperatura radiometrica del secondo canale
 a : coefficiente legato alla trasmittanza del vapore acqueo H₂O in entrambi i canali
 b : costante che tiene conto dell'emissività delle superfici e dell'attenuazione dovuta al CO₂ e agli aerosol.

Considerato che tanti sistemi che operano nel termico hanno una bassa risoluzione spaziale, per tenere conto degli effetti di mistura dei pixel, è stato proposto un metodo che si basa sul calcolo della temperatura del suolo nudo e della vegetazione separatamente e poi li combina secondo le loro proporzioni mediante la relazione:

$$T_S = P_{Vg} T_{Vg} + (1 - P_{Vg}) T_{Sn}$$

dove T_{Vg} e T_{Sn} si riferiscono alla vegetazione (Vg) e al suolo nudo (Sn) e si ottengono da:

$$\begin{cases} T_{Vg} = T_{b4} + 2.6(T_{b4} - T_{b5}) - 2.4 \\ T_{Sn} = T_{b4} + 2.1(T_{b4} - T_{b5}) - 3.1 \end{cases}$$

Il termine P_{Vg} rappresenta la frazione di vegetazione all'interno della cella di risoluzione ed è calcolato, pixel a pixel, dall'indice di vegetazione NDVI:

$$P_{Vg} = \frac{NDVI - NDVI_{Sn}}{NDVI - NDVI_{Vg}}$$

dove $NDVI_{Vg}$ e $NDVI_{Sn}$ sono i valori massimo e minimo di NDVI nell'area di studio.

3.1.2 Metodi basati su osservazione singola

I metodi basati su osservazione singola utilizzano, per ricavare la temperatura radiometrica e per correggere gli effetti atmosferici, le misure di radianza acquisite in una sola banda spettrale, o canale, posizionata all'interno della finestra atmosferica nell'IR termico. Questi metodi quindi si possono applicare anche con i sensori che hanno una sola banda spettrale nell'IR termico, come il TM del Landsat e il MVIRI del Meteosat.

Il metodo richiede una conoscenza accurata della distribuzione orizzontale e verticale della temperatura e del vapore acqueo in atmosfera. Questi dati relativi ai profili atmosferici non sono facilmente reperibili, ma possono essere ottenuti o dai modelli numerici di previsione meteorologica e da radiosondaggi o da altri sensori satellitari, quali il TOVS (*TIROS Operational Vertical Sounder*) dei satelliti NOAA, dedicati allo studio dei profili di atmosfera. Il metodo usa un modello di trasferimento radiativo, quale ad esempio il *Modtran*, per simulare in modo diretto le misure di radianza del satellite su un insieme di parametri di superficie (temperature, quote ed emissività) per una data atmosfera. La temperatura e le correzioni atmosferiche si ottengono interpolando i valori così simulati.

Per determinare la temperatura con un errore inferiore a 0.4 K, è necessario conoscere l'emissività ε con una accuratezza di ± 0.005 . Per superfici vegetate alle medie latitudini, assumendo un valore costante di $\varepsilon=0.975$, un errore di emissività di ± 0.025 produce un errore nella determinazione della temperatura di ± 2 K.

Con il satellite Landsat, ad esempio, la temperatura radiometrica T_b del sistema Terra atmosfera si ricava dalle misure di radianza spettrale nella banda TM-6 o ETM-6, utilizzando delle costanti di calibrazione (Tab. 3.2) fornite dalla NASA e assumendo un coefficiente di emissività unitaria, secondo la seguente relazione risultante dall'inversione dell'equazione di Planck:

$$T_b = \frac{K_2}{\ln(K_1/L^{sat} + 1)}$$

dove T_b temperatura radiometrica (al satellite) [K]

K_1 costante di calibrazione 1 [W m⁻² sr⁻¹ μm⁻¹]

K_2 costante di calibrazione 2 [K]

L^{sat} radianza spettrale al satellite [W m⁻² sr⁻¹ μm⁻¹]

Tab. 3.2. Valori delle costanti per la banda termica TM-6 (ETM+ 6) del Landsat.

Satellite	K_1 [W m ⁻² sr ⁻¹ μm ⁻¹]	K_2 [K]
Landsat-4	671.62	1284.30
Landsat-5	607.76	1260.56
Landsat-7	666.09	1282.71

Per correggere gli effetti atmosferici e determinare la temperatura radiometrica della superficie anziché quella del sistema accoppiato superficie-atmosfera, si sostituisce il valore di radianza misurata al satellite L^{sat} con la radianza alla superficie L_{sup} ottenuta dalla forma semplificata dell'equazione del trasporto radiativo:

$$L_{sup} = \frac{L^{sat} - L_A^\uparrow}{\varepsilon \tau^\uparrow} - \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right) \tau^\uparrow L_A^\downarrow$$

La radianza atmosferica ascendente L_A^\uparrow e la trasmittanza τ^\uparrow possono essere ottenute utilizzando un modello di trasferimento radiativo (Lowtran, Modtran), l'emissività ε viene solitamente da dati

ancillari, e la radianza atmosferica discendente L_A^\downarrow può essere calcolata con la formula empirica di Idso-Jackson:

$$L_A^\downarrow = 1.807 \times 10^{-10} T_A^4 \left\{ 1 - 0.26e^{-7.77 \times 10^{-4} (273.15 - T_A)^2} \right\}$$

dove T_A è la temperatura ambiente, cioè la temperatura dell'aria misurata da una stazione meteorologica.

3.2 Prodotti MODIS

Il sensore MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>) è montato a bordo dei satelliti polari Terra ed Aqua della NASA. La combinazione di entrambi i sensori permette di coprire la superficie terrestre in 1-2 giorni con acquisizioni in 36 bande nello spettro elettromagnetico dal visibile all'infrarosso termico. La risoluzione spaziale varia da 250 m (bande 1-2) a 500 m (bande 3-7) fino a 1000 m per le bande 8-36.

Ulteriori informazioni tecniche relative al sensore MODIS si possono trovare sul sito <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>.

Oltre alle potenzialità tecniche del sensore (scala globale, risoluzione spaziale moderata, alto tempo di rivisita, elevato numero di bande) e alla libera disponibilità dei dati, il valore aggiunto di MODIS è costituito da una suite di prodotti standard che vengono quotidianamente utilizzati da ricercatori e scienziati in varie discipline quali oceanografia, scienze della terra, e scienze dell'atmosfera. Questi prodotti sono descritti in modo dettagliato sul sito <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/index.php> dove sono raggruppati per discipline: atmosfera, terra, criosfera ed oceani. I prodotti elaborati hanno risoluzioni pari a 250 m, 500 m, 1.000 m, e 5.600 m (0.05 gradi). La risoluzione temporale dei prodotti elaborati può essere giornaliera, ogni 8 giorni, ogni 16 giorni, mensile, quadrimestrale, annuale.

Tra i vari prodotti standard messi a disposizione, per il progetto abbiamo scelto: Land Surface Temperature&Emissivity (MOD11A2), gli indici di vegetazione (MOD13A2), la mappa di copertura del suolo (MOD12Q1) e Sea Surface Temperature (SST). I prodotti MODIS vengono distribuiti per aree di grandezza pari a 1100 km x 1100 km (*tile*).

Il prodotto MOD11A2 include valori di LST (*Land Surface Temperature*) diurna (10:30 am) e notturna (10.30 pm), emissività, e mascheratura delle nuvole misurati nelle bande 31 e 32, utilizzando come riferimento i dati di mappe di copertura del suolo (Tab. 3.2). Il dato viene fornito in formato HDF (*hierarchical data format*) con una risoluzione di 1km, in proiezione sinusoidale e passo di 8 giorni (*composite data*).

L'algoritmo utilizzato per calcolare LST a partire dalla radianza spettrale si basa sulla teoria *split window* (par. 3.2.1) descritta da Wan e Dozier (1989) e Wan e Dozier (1996) dove l'emissività viene stimata in funzione del tipo di copertura vegetale del suolo. Ulteriori dettagli relativi all'algoritmo si possono trovare su Collection-5 MODIS Land Surface Temperature Products, Users' Guide scaricabile dal sito: https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table.

Il prodotto Global MOD13A2 fornisce gli indici di vegetazione NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, eq. 3.1) ed EVI (Enhanced Vegetation Index, eq. 3.2) con risoluzione spaziale di 1 km e passo 16 giorni.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \quad \text{eq. 3.1}$$

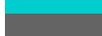
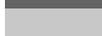
$$EVI = G \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + C_1 \rho_{red} - C_2 \rho_{blue} + L} \quad \text{eq. 3.2}$$

dove

ρ_x rappresenta la riflettività nelle bande delle lunghezze d'onda del rosso (red) del vicino infrarosso (NIR) e $L = 1$, $C_1 = 6$, $C_2 = 7.5$, $G = 2.5$.

Il prodotto MODIS Land Cover Type (MCD12Q1) contiene una mappa di copertura del suolo denominata UMD (University of Maryland) con le classi riportate in Tab. 3.2.

Tab. 3.2. Classi di copertura del suolo secondo la classificazione UMD (MCD12Q1), codice, numero di pixel nell'area di studio (N), proporzione coperta da ogni classi e colore per la rappresentazione in Figura 3.2a

MCD12Q1 nome	Codice	N pixels	Percentuale area di studio	Colore
Foreste sempreverdi Aghifoglia	1	290	0.5%	
Foreste sempreverdi Latifoglia	2	538	0.8%	
Foreste decidue Aghifoglia	3	7	0.0%	
Foreste decidue Latifoglia	4	748	1.2%	
Foreste miste	5	4896	7.7%	
Arbustivo denso	6	1021	1.6%	
Arbustivo rado	7	1473	2.3%	
Savanna legnosa	8	4429	7.0%	
Savanna	9	1943	3.1%	
Erbaceo	10	1643	2.6%	
Agricolo	12	39300	62.1%	
Urbano	13	6934	10.9%	
Suolo nudo o poco vegetato	16	111	0.2%	

Il modello digitale del terreno rappresentato in Figura 3.2.b è stato scaricato dal sito NOAA NESDIS (URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html>) e rappresenta il prodotto Global Land One-km Base Elevation Digital Elevation Model (Globe DEM). In questo prodotto la quota (m s.l.m) viene fornita con una risoluzione di 1 km (risoluzione della singola cella) in coordinate geografiche (Latitudine/Longitudine).

Il prodotto standard Sea Surface Temperature (SST) viene realizzato e distribuito da Ocean Biology Processing Group (OBPG), utilizzando il software the Multi-Sensor Level-1 to Level-2 (msl12), impiegato anche per la produzione delle immagini relative al colore degli oceani. L'algoritmo utilizza le bande nelle lunghezze d'onda del termico 31 (11 μm) e 32 (12 μm) del sensore MODIS ed è denominato *Long-wave SST* nel caso delle immagini riprese di giorno; per le immagini riprese di notte, viene inoltre utilizzato l'algoritmo *Short-wave SST*, con le bande 22 (3.959 μm) e 23 (4.050 μm).

Tutti i dettagli si trovano sul sito <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>.

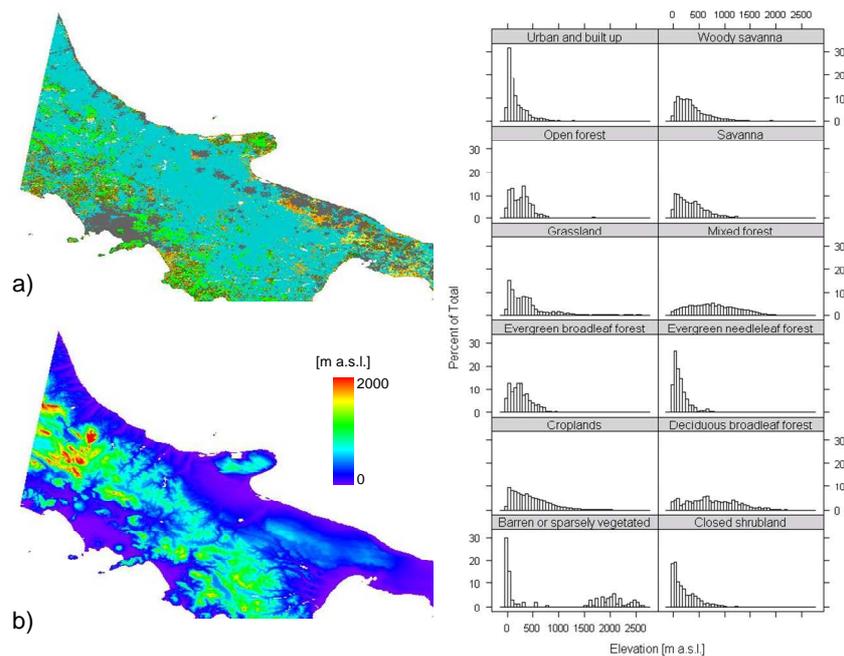


Figura 3.2. La mappa di copertura del suolo del prodotto MCD12Q1 (a, i colori delle classi sono riportati in Tab. 3.2.), il modello digitale del terreno DEM (b) e gli istogrammi che rappresentano la distribuzione delle quote per classe di copertura del suolo (per le classi vedi Tab. 3.2).

3.3 Dati satellitari Landsat TM e ETM+

Il programma Landsat è gestito dalla NASA e dal Servizio Geologico degli Stati Uniti (USGS) e sicuramente costituisce ad oggi l'archivio più lungo di immagini digitali della superficie terrestre. Il satellite percorre un'orbita eliosincrona, ad un'altezza di 705 km, ed con un'inclinazione rispetto all'asse terrestre di 98.2°. Passa sopra l'Equatore verso le ore 10 AM, con passaggi sopra l'Italia verso le 9.30 AM. Gli ultimi satelliti della missione Landsat lanciati in orbita sono: Landsat 5 (1984) e Landsat 7 (1999) con a bordo rispettivamente i sensori Thematic Mapper (TM) e Enhanced Thematic Mapper

Nel novembre 2011 il sensore TM è stato spento a causa della continua degradazione della componente elettronica dopo circa 27 anni di operatività. La sospensione dell'acquisizione è considerata temporanea ma al momento non sono disponibili nuove acquisizioni. Il sensore ETM+, lanciato nel 1999, costituisce un notevole passo avanti rispetto al recedente sensore TM non solo per la banda pancromatica ad alta risoluzione ma perché offre una risoluzione spaziale di 60 m invece che 120m nell'infrarosso termico. Tuttavia nel maggio del 2003 un componente del satellite (Scan Line Corrector, SLC) si è irrimediabilmente guastato causando la perdita di parte dell'informazione digitale acquisita dal sensore ETM+; come conseguenza, il sensore è ancora in grado di acquisire dati utili, ma lo spegnimento del componente SCL (*SCL-off mode*) determina la perdita di circa il 22% dei dati per le acquisizioni successive a luglio 2003. Nell'ambito del progetto abbiamo considerato le immagini acquisite sia dal sensore TM che ETM+ le cui caratteristiche sono riassunte nella Tab. 3.3.

Tab. 3.3. Caratteristiche dei sensori TM ed ETM+ (fonte: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov>).

Banda	Larghezza banda [μm]	Ris. spaziale TM [m]	Ris. spaziale ETM+ [m]
1	0.45-0.52		30
2	0.52-0.60		30
3	0.63-0.69		30
4	0.76-0.90		30
5	1.55-1.75		30
6	10.4-12.5	120	60
7	2.08-2.35		30
8	0.52-0.9 (pancromatico)	//	15

3.4 Acquisizione dei dati a risoluzione spaziale moderata

Per raggiungere gli obiettivi previsti nel progetto sono state acquisiti i dati MOD11A2 che coprono il periodo 2001-2010 con 45 immagini composite di 8 giorni ciascuno per ogni anno; in totale sono stati scaricati 457 file in formato HDF dal sito USGS Glovis.

Il dato HDF è costituito da 12 layers che oltre alla stima di LST ed emissività nelle bande 31 e 32 diurna e notturna, comprendono informazioni relative alla qualità della stima per entrambi i parametri (Quality Control, QC). Le informazioni di qualità QC vengono fornite in modo automatico per ciascun pixel di 1 km e sono relative all'algoritmo utilizzato, alla presenza di nuvole ed all'accuratezza della stima di LST (gradi kelvin) e di emissività. In sintesi dai prodotti MOD11A2 sono stati estratti 4 layers: temperatura LST diurna e notturna e le relative informazioni di qualità (QC_Day, QC_Night). I layer estratti dai file HDF relativi a ciascun anno (gennaio-dicembre) sono stati organizzati in file BSQ (10 file BSQ di 45 bande ciascuno) per è stato creato un file di *header* compatibile con il software ITT-ENVI. Inoltre, è stata estratta un finestra all'interno del *tile* che copra l'Italia meridionale (h19v04) per escludere le aree esterne alla regione di interesse.

Per quanto riguarda il prodotto SST, sono stati scaricati i prodotti di livello 2 che forniscono una stima della temperatura superficiale dell'acqua diurna (10.30 am) e notturna (1.30 pm). Il prodotto di livello 2 fornisce la stima di SST per l'area geografica coperta da ogni singola acquisizione del sensore (scan line e pixel extent) alla risoluzione di 1 km. Rispetto ai prodotti di livello 3, come per esempio il prodotto MOD11A2 utilizzato per l'analisi di LST, ha un livello di processamento inferiore (i.e. dati non ri-proiettati su una griglia comune come, per esempio, quella sinusoidale). Tuttavia, i prodotti SST di livello 3, derivati dalla sintesi di quelli di livello 2 per archi temporali crescenti (un giorno, 8 giorni, un mese ed un anno), vengono ricampionati su griglie di 4 km o 9 km che costituiscono una risoluzione troppo bassa per le nostre aree di interesse localizzate in regioni costiere. Le scene scaricate sono state processate con un plug-in di ENVI che permette di riproiettarle.

3.5 Analisi MODIS Quality Control per LST

Il layer QC del prodotto MOD11A2 è codificato in un byte (8 bit) che fornisce un'informazione per ciascun bit come riassunto in Tab. 3.4. I primi due bit (posizione 0 e 1) portano informazioni che devono essere obbligatoriamente fornite e relative alla produzione o meno della stima di LST ed alla sua qualità; nel migliore dei casi LST è stimata con un errore inferiore a 1K. Tuttavia, LST può

essere prodotta anche in condizioni sub-ottimali ed in questo caso si rende necessario analizzare le informazioni contenute nei bit successivi (6-7) per sapere con quale accuratezza è stata prodotta (errore medio nella stima di LST). Tutte queste informazioni si riferiscono al dato fornito con un passo di 8 giorni (composite). Nel caso di presenza di nuvole rilevate dall'algoritmo, il dato LST non viene prodotto in quanto la superficie non è osservabile.

Tab. 3.4. Codifica su 8 bit dell'informazione QC per MODIS LST.

Bit. No.	Nome	Bit	Commento
0-1	Informazioni obbligatorie	00	LST prodotta, buona qualità, non è necessario esaminare ulteriori informazioni di qualità
		01	LST prodotta, qualità non buona, si raccomanda di esaminare le ulteriori informazioni di qualità
		10	LST non prodotta a causa della presenza di nuvole
		11	LST non prodotta per ragioni diverse dalla presenza di nuvole
2-3	Qualità del dato	00	Dati L1B di buona qualità nelle 7 bande dell'infrarosso termico
		01	Dati di altra qualità
		10	Da definire
		11	Da definire
4-5	Errore nella stima di emissività	00	Errore medio per emissività ≤ 0.01
		01	Errore medio per emissività ≤ 0.02
		10	Errore medio per emissività ≤ 0.04
		11	Errore medio per emissività > 0.04
6-7	Errore nella stima di LST	00	Errore medio per LST $\leq 1K$
		01	Errore medio per LST $\leq 2K$
		10	Errore medio per LST $\leq 3K$
		11	Errore medio per LST $> 3K$

La Tab. 3.5 riassume le classi di qualità incontrate nell'analisi dei dati utilizzati per questo progetto. Sia per LST diurna che notturna la maggioranza dei dati (>60%) sono di buona qualità (massima accuratezza), circa il 3% dei dati per entrambi i data set non forniscono valori di LST a causa della presenza di nuvole rilevate dall'algoritmo ed, infine, meno del 30% dei dati è fornito con un'accuratezza di LST di poco inferiore al valore ottimale (1 K).

Un'analisi più approfondita rileva che la proporzione di dati classificati di buona qualità (primi due bit del layer QC= 00) è molto variabile all'interno dell'anno. La Fig. 3.3 presenta la percentuale (mediana, min, max) di pixel classificati di buona qualità per ogni periodo di 8 giorni all'interno dell'anno (le statistiche sono calcolate sulla base del data set multi-annuale 2001-2010 di LST diurna e notturna. Le massime proporzioni di stima accurate di LST (>80%) si raggiungono durante il periodo estivo quando la copertura nuvolosa è minima. Negli altri periodi dell'anno il dato LST viene comunque prodotto dall'algoritmo ma classificato di qualità non buona probabilmente a causa della presenza di nuvole/disturbi atmosferici che l'algoritmo non è grado di rilevare. Durante il periodo invernale, la proporzione di LST classificata di buona qualità scende anche al di sotto del 50%. La stagionalità osservata nei dati QC è consistente per le stime di LST diurne e notturne.

Tab. 3.5. Frequenza delle classi di qualità osservate nel dataset preso in considerazione in questo studio.

QC (0-255)	Descrizione	LST diurna	LST notturna
0	Buona qualità	60.57%	63.16%
2	LST non calcolata a causa della presenza di nuvole	2.67%	3.01%
17	LST calcolata, errore medio emissività ≤ 0.02 & errore medio LST $\leq 1K$	1.05%	1.99%
65	LST calcolata, errore medio emissività ≤ 0.01 & errore medio LST $\leq 2K$	28.31%	25.43%
81	LST calcolata, errore medio emissività ≤ 0.02 & errore medio LST $\leq 2K$	6.60%	5.86%

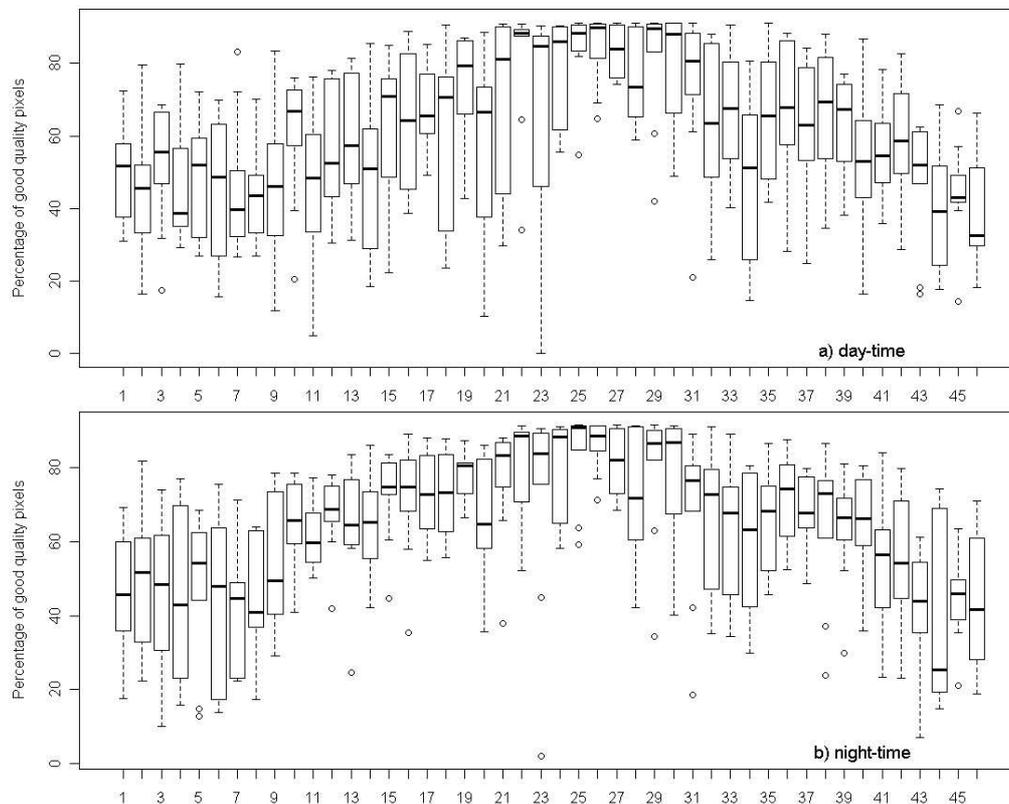


Fig. 3.3. Grafici box-plot rappresentanti le statistiche del layer QC dei dati diurni e notturni di LST per i dieci anni 2001-2010. Sull'asse delle y è riportata la percentuale di dati identificati di 'buona qualità'.

E' stata condotta un'analisi più approfondita dei bit successivi al secondo del layer QC per classi di copertura del suolo (vedi Fig. 3.2.a) ed i risultati sono rappresentati in Fig. 3.3. In generale, i dati classificati di non buona qualità sono caratterizzati da un errore medio di emissività inferiore a 0.02 ed un errore medio di LST sempre inferiore a 3K, valori massimi degli errori osservati nel data set (vedi Tab. 3.5).

E' importante ricordare che il livello di accuratezza accettabile non può essere definito in termini assoluti, ma dipende strettamente dal tipo di applicazione; in questo progetto è stato ritenuto

opportuno tenere tutti i dati disponibili, anche a discapito di un'accuratezza inferiore, per incrementare la frequenza di osservazioni e rendere le analisi di tipo multi temporale più robuste.

La Fig. 3.4. mette in evidenza come la proporzione di dati classificati di *non buona qualità* non siano omogeneamente distribuiti tra le diverse classi di copertura. Le classi di copertura naturale o semi-naturale (agricolo, foresta mista, savana) seguono l'andamento già evidenziato nell'analisi globale del dataset LST: valori massimi di osservazioni affidabili durante il periodo estivo quando la copertura nuvolosa è minima. Al contrario le aree urbanizzate hanno una proporzione media di pixel classificati di *non buona qualità* sempre superiore al 70%; in questo caso esistono quindi altri fattori che influenzano l'accuratezza delle stime di LST, diversi dalla presenza di copertura nuvolosa. Si può ipotizzare che l'accuratezza nella stima di emissività, che nell'algoritmo MODIS viene fornita per ciascuna classe di copertura vegetale, si abbassi nel caso di presenza di aree urbane. Infatti, da un'analisi più approfondita è risultato che in queste aree urbane la maggior parte (>55%) dei pixel identificati di non buona qualità sono caratterizzati da un'accuratezza della stima di emissività ≤ 0.02 ; nelle altre quattro classi di copertura considerate invece le stime risultano più accurate (errore medio emissività ≤ 0.01).

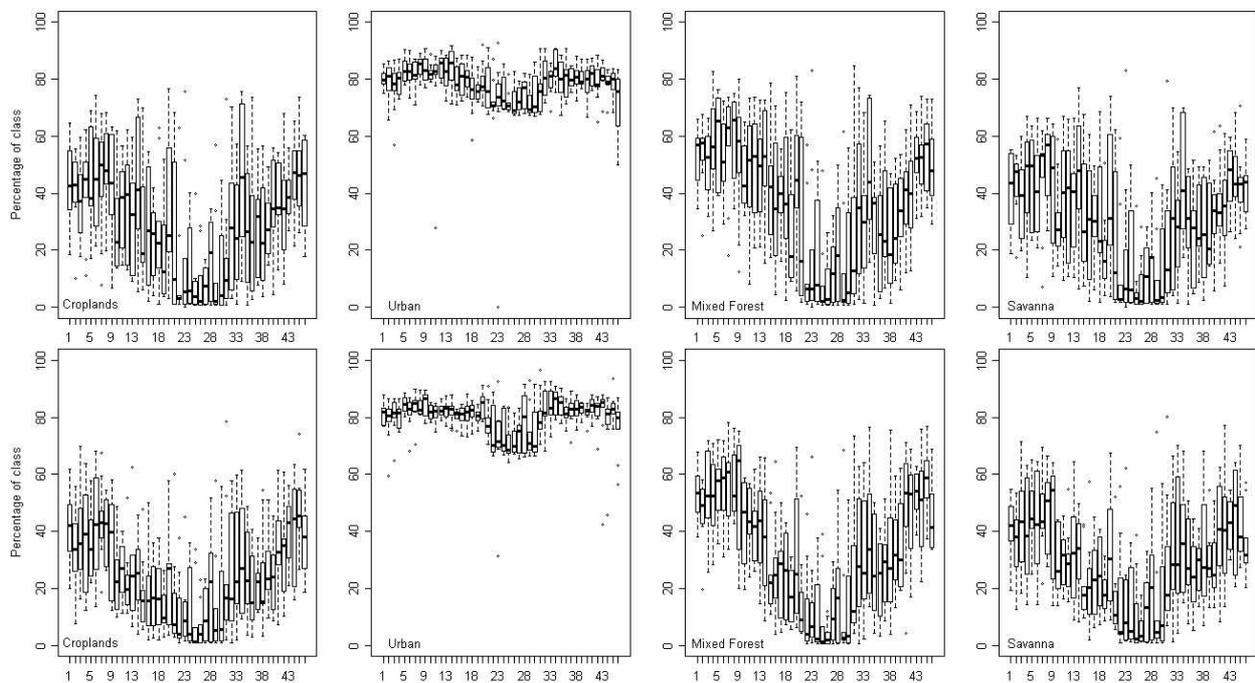


Fig. 3.4. Proporzione di pixel classificati di *non buona qualità* nel data set utilizzato per il progetto (2001-2010) per quattro classi di copertura del suolo (agricolo, urbano, foresta mista e savana) per LST diurna (sopra) e notturna (sotto). Sull'asse delle x sono rappresentati i periodi di 8 giorni all'interno dell'anno.

3.6 Analisi delle serie temporali LST

I dati di LST MODIS sono caratterizzati da un'elevata stagionalità (variazioni all'interno dello stesso anno per effetto delle stagioni) e da un'alta variabilità inter-annuale (tra un anno all'altro per effetto dei cambiamenti climatici).

La Fig. 3.5 mostra tre profili temporali dei dati LST (risoluzione spaziale 1 km e passo temporale 8 giorni) per tre aree di dimensione 3x3 pixel estratte in corrispondenza di area agricola, area

urbana e area di foresta mista. I profili confermano l'elevata variabilità di LST sia diurna che notturna sebbene i valori di LST notturna siano inferiori e più omogenei tra le diverse coperture. I profili di Fig. 3.4.a relativi al sito agricolo ed urbano (rosso scuro e blu) hanno infatti valori di LST diurna significativamente superiori al profilo estratto in corrispondenza di un'area di foresta.

Per diminuire la dimensione temporale del dataset sono state innanzitutto calcolate per ogni anno le temperature medie diurne e notturne mensili a partire dai valori disponibili ogni 8 giorni. La Fig. 3.6 mostra LST media diurna mensile calcolata per tutto il data set 2001-2010; in questo modo viene messa in evidenza la stagionalità intra-annuale rispetto a quella inter-annuale che viene oscurata dal calcolo dei valori medi mensili sull'intero periodo.

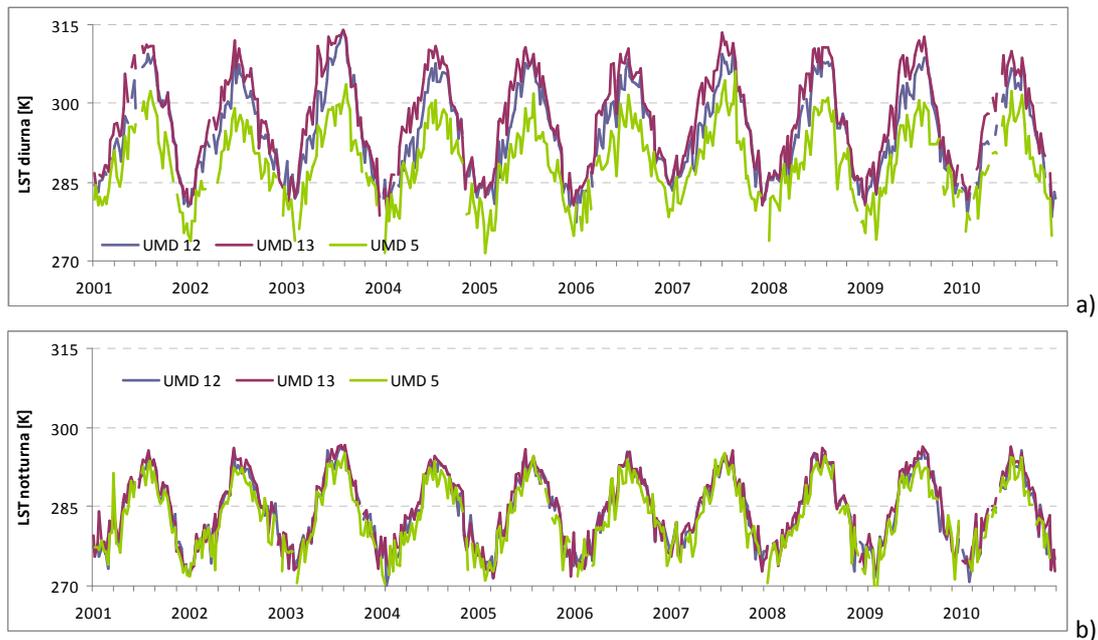


Fig. 3.5. Profili temporali LST diurna (a) e notturna (b) estratti dal data set originale (passo 8 giorni) per tre aree (finestra 3x3 pixel) con copertura omogenea; le classi di copertura UMD 12, 13 e 5 rappresentano rispettivamente aree agricole, aree urbane e aree di foresta mista.

La figura mette in evidenza come LST diurna cambi durante l'anno dai valori minimi invernali (dicembre-gennaio) ai valori massimi estivi (luglio-agosto). La scala di valori copre un range che varia da un minimo di 260 K (temperature superficiali inferiori a 0°C) rappresentati dai colori più scuri a massimi superiori a 300 K (valori prossimi a 30°C) rappresentati dai toni di giallo. La Fig. 3.7 rappresenta lo stesso tipo di informazione per LST notturna. In questo caso i valori medi mensili sono inferiori e raggiungono un massimo di circa 295 K (valori di poco superiori a 20°C). La stagionalità, tuttavia, è simile a quella della temperatura diurna con valori minimi in inverno e massimi nel periodo estivo. Le medie mensili di LST mostrate in queste due figure sono influenzate primariamente dall'insolazione (per quanto riguarda LST diurna) e dalla topografia (per quanto riguarda LST sia diurna che notturna).

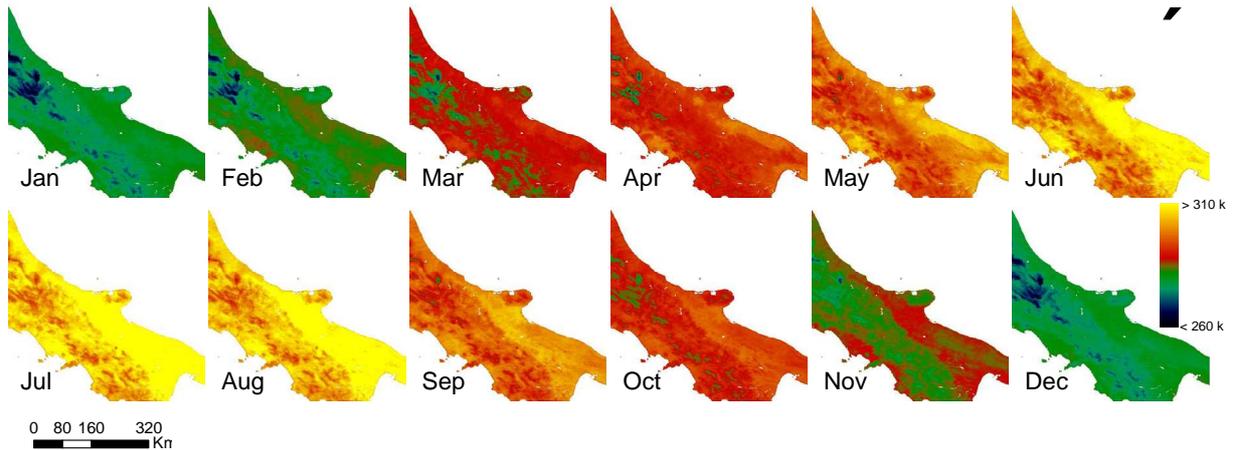


Fig. 3.6. LST diurna media per i mesi dell'anno. I valori medi sono stati calcolati dalla serie temporale 2001-2010.

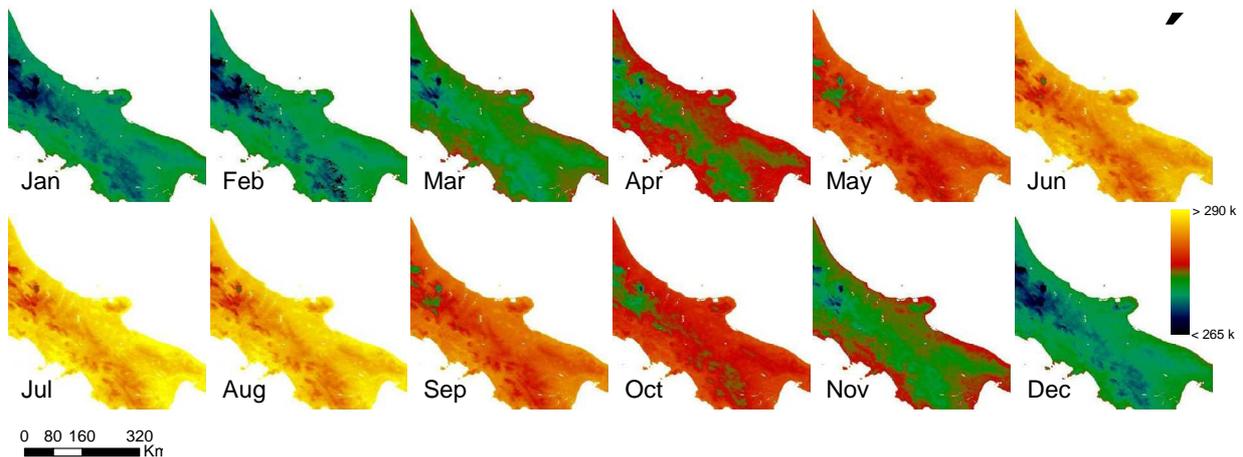


Fig. 3.7. LST notturna media per i mesi dell'anno. I valori medi sono stati calcolati dalla serie temporale 2001-2010.

Si è quindi ritenuto utile una ulteriore analisi che potesse dare risultati meno dipendenti da questi fattori e quindi indicasse in modo diretto le anomalie termiche. La Fig. 3.8 mostra le anomalie di LST diurna calcolate per ogni anno come differenza/scostamento fra valore medio dell'anno rispetto alla media di tutto il decennio. Lo stesso risultato di anomalia per la temperatura notturna è illustrato in Fig. 3.9.

Un parametro di interesse nell'analisi delle anomalie termiche superficiali è la differenza tra temperatura diurna e notturna. La Fig. 3.10 presenta la differenza tra LST diurna e notturna media nei quattro periodi dell'anno. I valori variano da minimi di 2.0 K (periodi invernali) e massimi di poco superiori a 23 K (nei periodi più caldi dell'anno tra luglio e settembre).

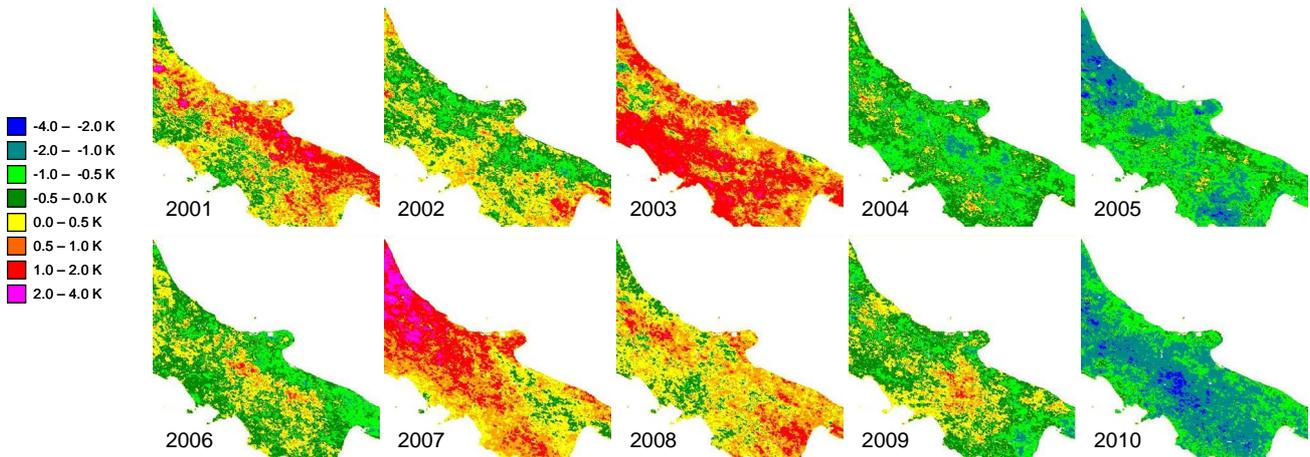


Fig. 3.8. Anomalie di LST diurna calcolate per ogni pixel (1 km) come lo scostamento fra la media dell'anno rispetto a quella del decennio

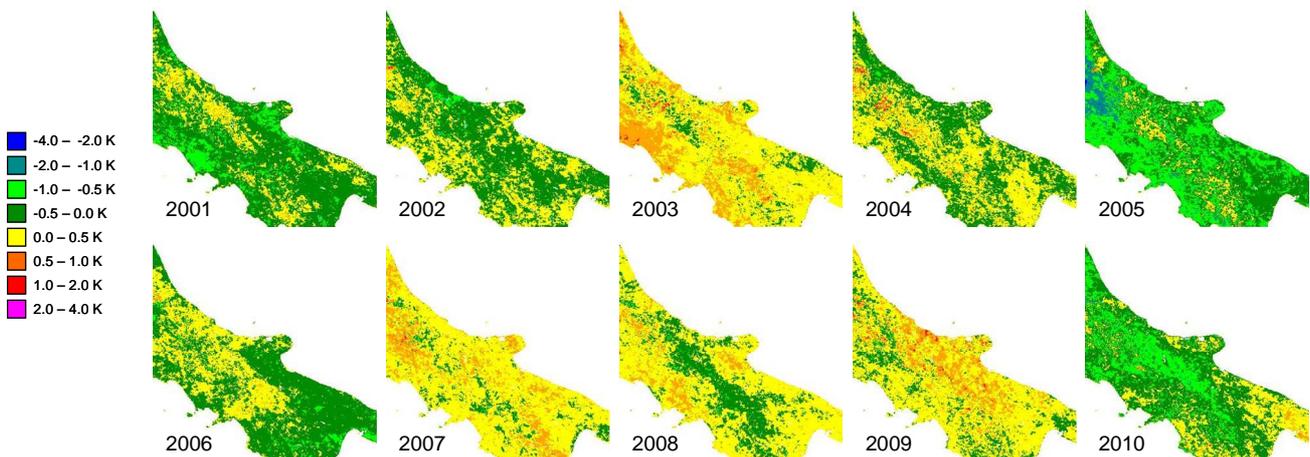


Fig. 3.9. Anomalie di LST notturna calcolate per ogni pixel (1 km) come lo scostamento fra la media dell'anno rispetto a quella del decennio

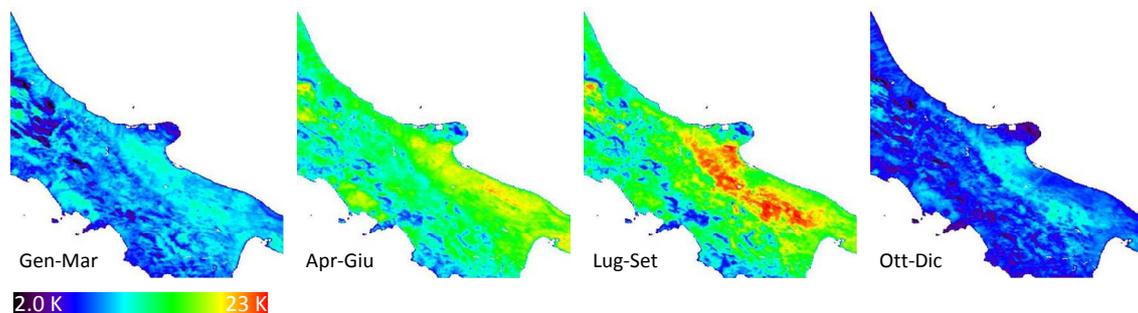


Fig. 3.10. Media delle differenza tra LST diurna e notturna per quattro periodi dell'anno.

Infine, in Fig. 3.11 vengono illustrate LST massima (diurna e notturna) e minima (diurna e notturna) calcolate a partire dall'intero data set 2001-2010. I valori estremi sono stati

rappresentati con la stessa scala di colori ma con range diversi; valori inferiori a 255 K sono stati esclusi in quanto rappresentano probabili pixel coperti da nuvole (anche solo parzialmente) e non rilevati dall’algoritmo (la temperatura rilevata in questo caso è quella della nuvola e non del suolo). A conferma di questo le Fig. 3.11 b e d, che rappresentano i valori minimi diurno e notturno sono caratterizzate da un’elevata variabilità spaziale e si evidenzia un maggiore livello di rumore (pixel adiacenti con valori di LST molto diversi). Infatti, la ricerca dei minimi assoluti comporta il rilevamento di valori estremi con un’alta probabilità di incorrere in errori. Le mappe di valori massimi, invece, meglio rappresentano la realtà e riportano un dato più affidabile grazie al fatto che in questo tipo di dati gli errori (nuvole) si evidenziano solo nei valori minimi e non nei massimi.

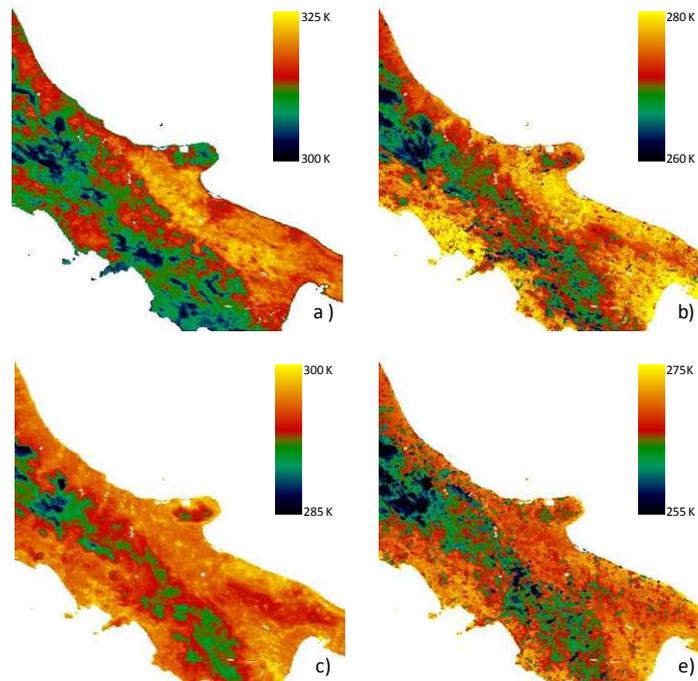


Fig. 3.11. LST massima (diurna: a, notturna:c) e minima (diurna: b, notturna: e) calcolate su tutto il data set 2001-2010. Nel calcolo dei minimi assoluti i valori di LST inferiori a 255 K sono stati scartati.

3.7 Analisi della relazione tra LST e topografia

Nella Fig. 3.12, è mostrata la correlazione tra LST media mensile diurna e notturna (vedi Fig. 3.6 e 3.7) e la quota [m s.l.m.] fornita dal modello digitale del terreno (Fig. 3.2). La correlazione è quantificata dal coefficiente r di Pearson che, mese per mese, è indicato negli scatterogrammi. I valori di r confermano la correlazione significativa tra LST e quota: la temperatura superficiale decresce all’aumentare la quota (r negativo). Si evidenzia dall’analisi una differenza significativa tra i valori di correlazione dei dati diurni e notturni: il range di variazione del coefficiente r per i dati LST notturna è più ristretto (0.81-0.91) rispetto a quello osservato per i dati LST diurna (0.69-0.94). Inoltre il valore della correlazione ha una stagionalità diversa tra i due data set: la correlazione tra quota e LST diurna è massima durante il periodo invernale (da dicembre a febbraio) mentre il

contrario accade nel caso della correlazione tra quota e LST notturna dove i valori massimi di r si osservano per i mesi estivi. In generale, la quota spiega più del 70% della variazione di LST.

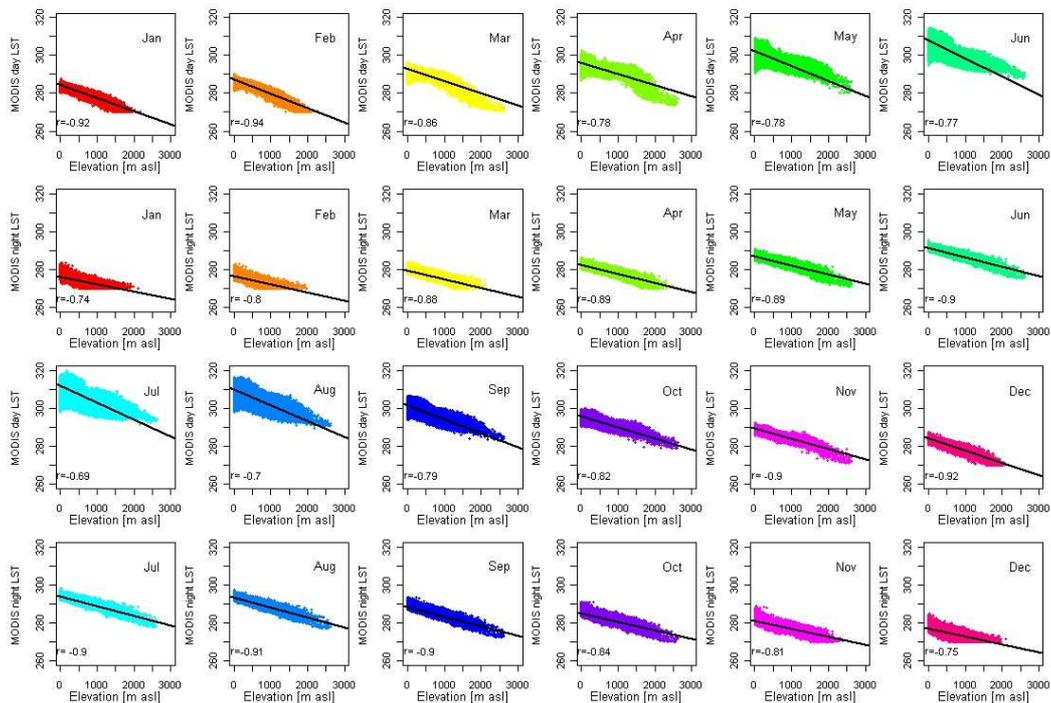


Fig. 3.12. Regressione lineare tra la quota (m s.l.m) e LST media mensile diurna (prima e terza riga) e notturna (seconda e quarta riga). Il valore del coefficiente di correlazione r di Pearson è riportato per ogni scatterogramma.

Questo tipo di analisi è fondamentale per individuare i fattori che influenzano la variabilità sia spaziale che stagionale della temperatura superficiale e quantificare la varianza spiegata; a partire da queste analisi (dato purificato da fattori esterni) si può effettuare un'analisi delle anomalie di temperatura superficiale per evidenziare eventuali correlazioni con fenomeni geotermici.

3.8 Analisi della relazione tra LST e copertura del suolo

Un altro fattore che influenza significativamente la variazione spaziale della temperatura superficiale è la copertura del suolo. Le caratteristiche della copertura vegetale (e.g. rugosità della superficie vegetata, albedo, conduttanza fogliare, contenuto d'acqua delle foglie) hanno un ruolo molto importante nei processi che coinvolgono lo strato di atmosfera più vicino al suolo (near-surface atmosphere); per questo motivo il tipo di copertura e le sue variazioni stagionali (ciclo annuale) sono due fattori da tenere in considerazione nell'analisi di LST.

Le Fig. 3.13 e 3.14 mostrano le statistiche di LST media mensile diurna e notturna in funzione delle principali classi di copertura del suolo per l'area di studio. A conferma di quanto discusso nei paragrafi precedenti, gli *outlier* si concentrano in corrispondenza dei valori più bassi di LST sia per il data set diurno che notturno. Infatti, questi valori minimi al di fuori delle statistiche sono molto probabilmente dovuti alla presenza di nuvole non rilevate dall'algoritmo; per questi casi il valore fornito dal dato MODIS rappresenta la temperatura della superficie della nuvola, significativamente inferiore a quella del terreno. Dai grafici mostrati nelle figure si evidenzia come gli *outlier* siano concentrati nei mesi estivi nel caso di LST diurna ed in quelli invernali nel caso di LST notturna.

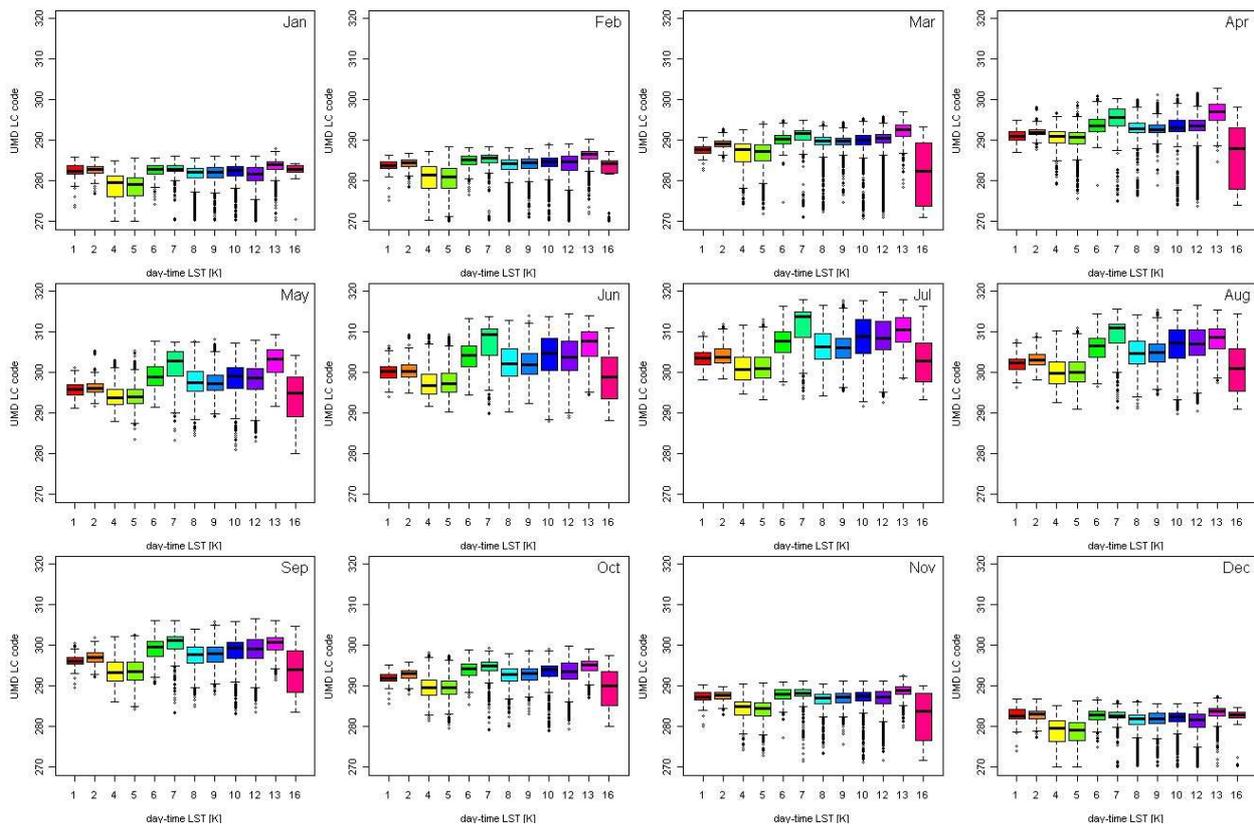


Fig. 3.13. Boxplot delle statistiche di LST media mensile diurna [K] per le classi di copertura del suolo indicate dalla mappa UMD (MCD12Q1, vedi Tab. 3.2).

Inoltre i grafici mettono in evidenza come il range di valori di LST diurna (indicato nei grafici dal rettangolo colorato i cui estremi sono il primo ed il terzo quartile) aumenti significativamente nei mesi più caldi dell'anno quando aumenta l'insolazione della superficie terrestre e soprattutto in corrispondenza delle classi di copertura vegetale con maggiore stagionalità (e.g. boschi caducifolia). L'area colorata nel grafico, infatti, rappresenta la dispersione dei dati che in questo caso è legata alla variabilità spaziale di LST all'interno della singola classe di copertura. Analizzando i valori di LST notturna, non si osserva una variazione della stessa entità in quanto la temperatura superficiale non è direttamente legata all'insolazione. Per quanto riguarda le statistiche di posizione (mediana della distribuzione che nel grafico è indicata dalla linea nera orizzontale all'interno del rettangolo colorato), le diverse classi di copertura del suolo si differenziano maggiormente nel periodo estivo e nel caso di LST diurna piuttosto che notturna.

Queste analisi suggeriscono che la copertura del suolo è un parametro molto importante per la spiegazione delle variazioni stagionali di LST in quanto le caratteristiche delle vegetazione variano durante l'anno in funzione del ciclo della vegetazione. In un passo successivo i dati di LST saranno analizzati in correlazione agli andamenti di indici di vegetazione (e.g. NDVI ed EVI) che possono essere considerati un proxy della stagionalità delle vegetazione.

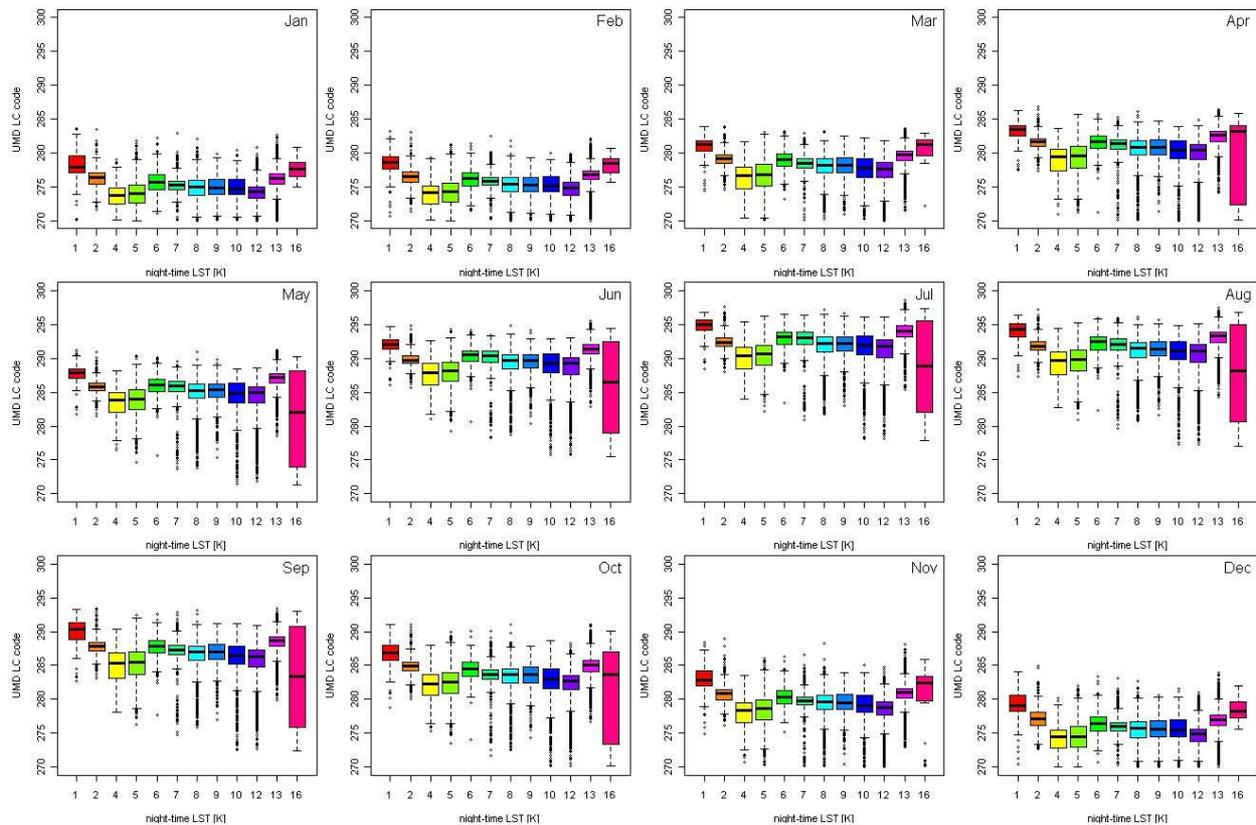


Fig. 3.14 Boxplot delle statistiche di LST media mensile notturna [K] per le classi di copertura del suolo indicate dalla mappa UMD (MCD12Q1, vedi Tab. 3.2).

3.9 Analisi delle serie temporali SST

I prodotti distribuiti da Ocean Color Web (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) sono stati acquisiti in formato Livello 2, con 1 km di risoluzione e con riprese giornaliere.

I dati vengono forniti senza alcuna trasformazione post-acquisizione. Per l'analisi dei dati multitemporali occorre quindi utilizzare il plug-in EPOC (ENVI Plugin for Ocean Color), da aggiungere al software ENVI. EPOC trasforma il file originale .SST riproiettando e gerefenzinando l'output nel sistema di riferimento geografico UTM (Fig. 3.15). La trasformazione avviene tenendo conto anche dell'angolo di ripresa dell'immagine che varia in modo sostanziale dal nadir alla periferia della scena.

La trasformazione introduce quindi notevoli cambiamenti nell'immagine, soprattutto lungo le linee di costa, dove la superficie emersa viene mascherata con valori uguali a 0, a causa del riposizionamento dei pixel secondo il sistema di riferimento geografico.

Di conseguenza nelle immagini multitemporali con una risoluzione di 1 km l'isola di Ischia viene rappresentata con forme molto differenti. La Fig. 3.16, con i colori che indicano la variazione relativa al giorno della ripresa delle temperature nel mare, dal blu-freddo al rosso-caldo, mostra come le linee di LST costa dell'isola vengono rappresentate nelle varie date dopo la trasformazione.

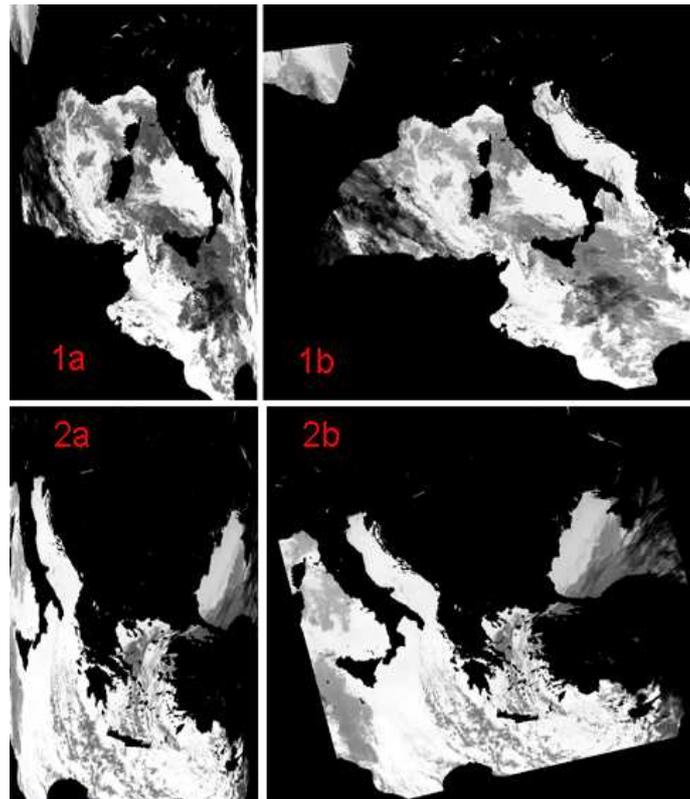


Fig. 3.15. Immagini MODISS SST Livello2, riprese, rispettivamente il 1 gennaio 2011 (originale 1a e trasformata 1b) ed il 16 gennaio 2011 (originale 2a e trasformata 2b).

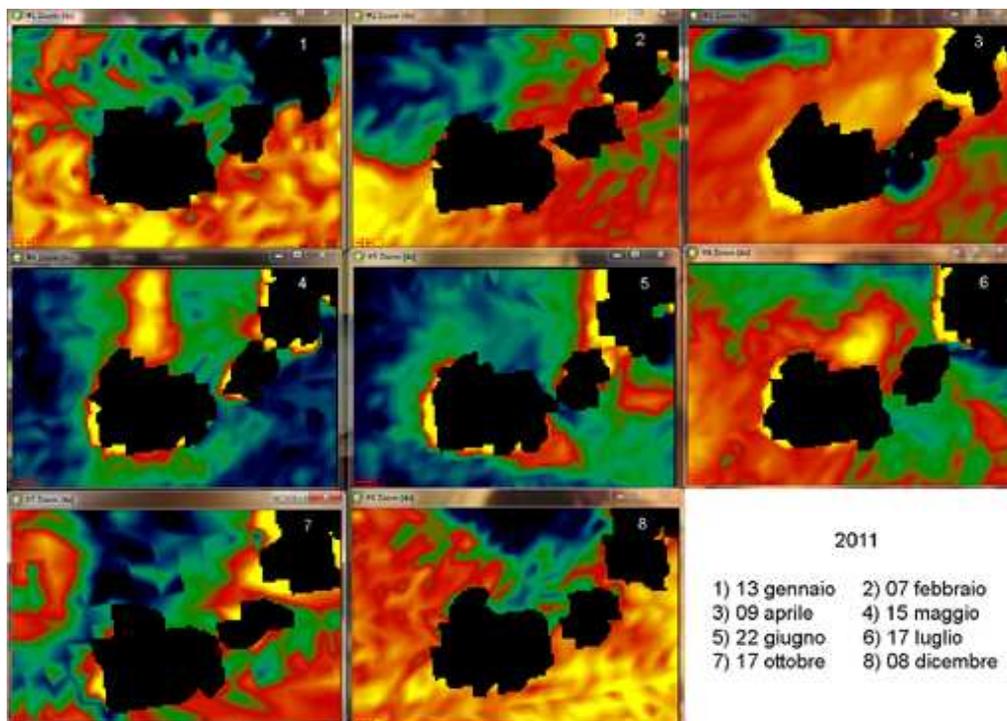


Fig. 3.16. Immagini MODIS SST multitemporali. L'isola di Ischia è rappresentata al centro.

Tab. 3.6. Immagini Landsat TM/ETM+ acquisite progetto per Mondragone e Ischia.

Path	Row	Data	Sensore
190	031	07/02/2003	ETM+
190	032	07/02/2003	ETM+
190	031	27/09/2003	TM
190	032	27/09/2003	TM
190	031	08/08/2011	ETM+
190	032	08/08/2011	ETM+
190	032	15/01/2012	ETM+
190	031	15/01/2012	ETM+

Per quanto riguarda l'utilizzo delle immagini acquisite dal sensore ETM+ dopo luglio 2003 (*SLC-off mode*), è possibile ricostruire un dato completo (senza dati mancanti all'interno della scena) combinando immagini acquisite a poca distanza di tempo. Una trasformazione lineare viene quindi applicata all'immagine primaria per “riempire” le linee di pixel mancanti, utilizzando la seconda immagine come riferimento. A tal scopo USGS fornisce insieme ai dati dell'immagine anche una maschera delle linee mancanti, con valori pari a 1 per i pixel correttamente registrati e 0 per i pixel mancanti. I pixel mancanti possono quindi essere rigenerati applicando una correzione in gain e bias utilizzando la media e la deviazione standard dei corrispettivi pixel della seconda immagine, correttamente registrati. Il software ENVI ha di conseguenza introdotto un plug-in dedicato alla trasformazione delle immagini Landsat ETM+, per correggere in modo semi-automatico questi errori di registrazione.

I dati Landsat (bande 1-7) sono stati calibrati radiometricamente applicando i fattori di *gain* e *offset* specifici in base alle equazioni 1, 2 e 3 (Chander et al., 2009).

$$L_{\lambda} = G_{rescale} * Q_{cal} + B_{rescale} \quad (\text{eq. 1})$$

$$G_{rescale} = (LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / (Q_{calmax} - Q_{calmin}) \quad (\text{eq. 2})$$

$$B_{rescale} = LMIN_{\lambda} - \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) Q_{calmin} \quad (\text{eq. 3})$$

dove L_{λ} = radianza al sensore nella banda λ [$W / m^2 \text{ sr } \mu\text{m}$]
 Q_{cal} = numero indice per ogni pixel della scena (Digital Number, DN)
 Q_{calmin} = valore minimo quantizzato di DN corrispondente a $LMIN_{\lambda}$
 Q_{calmax} = valore massimo quantizzato di DN corrispondente a $LMAX_{\lambda}$
 $LMIN_{\lambda}$ = radianza al sensore riscalata a Q_{calmax} [$W / m^2 \text{ sr } \mu\text{m}$]
 $LMAX_{\lambda}$ = radianza al sensore riscalata a Q_{calmin} [$W / m^2 \text{ sr } \mu\text{m}$]

Nel caso delle bande nelle lunghezze d'onda del visibile e dell'infrarosso vicino e medio (bande 1-5 e 7) i dati calibrati radiometricamente sono stati anche corretti per l'effetto atmosferico utilizzando il codice 6S (Vermote et al., 1997; Vermote et al., 2002). Nel caso della banda nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso termico (banda 6) i dati calibrati radiometricamente possono essere trasformati in valori di temperatura superficiale (al suolo) tramite, per esempio, l'approccio proposto da Qin et al. (2011).

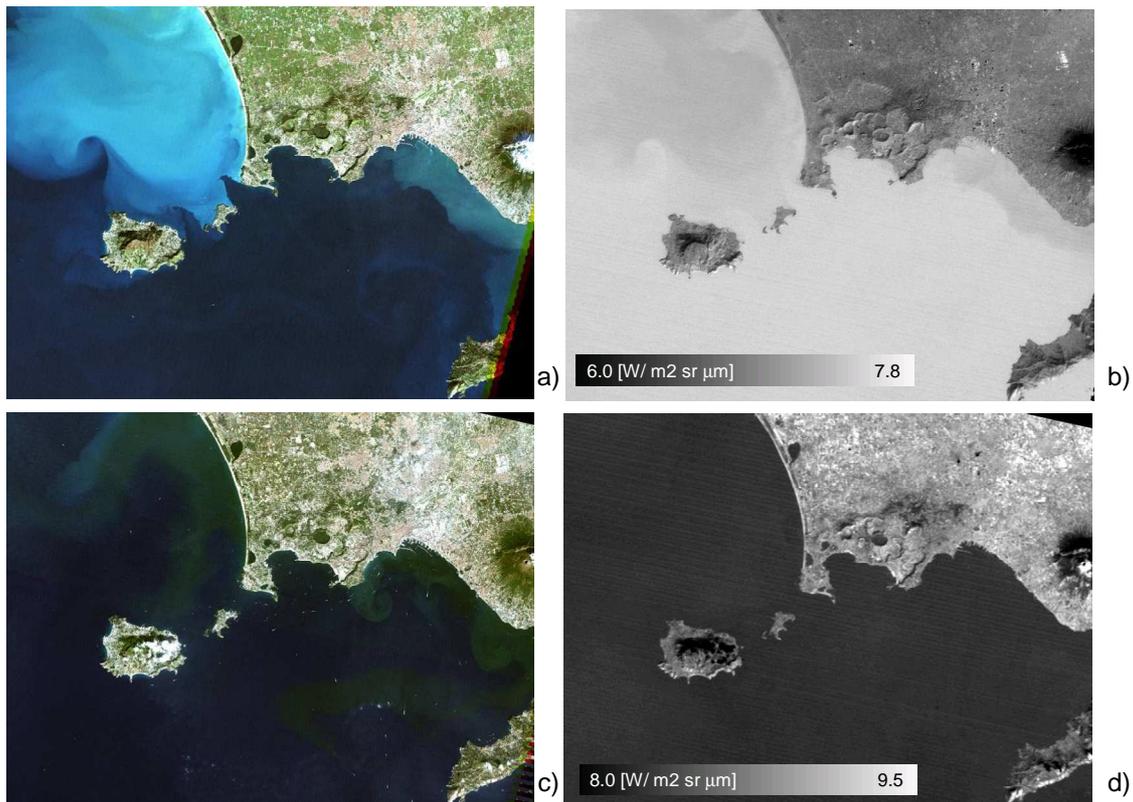


Fig. 3.18. a) Immagine Landsat-7 ETM+ acquisita nell'area di Ischia (path/row 190/032) in data 27/02/2003 (RGB bande 321); b) immagine acquisita nella banda 6 sensore ETM+ per la stessa data; c) Immagine Landsat-5 TM acquisita nell'area di Ischia (path/row 190/032) in data 27/09/2003 (RGB 321); d) immagine acquisita nella banda 6 sensore TM per la stessa data.

A titolo di esempio la Fig. 3.18 presenta due delle immagini Landsat acquisite progetto per l'area di Ischia (Tab. 3.6) nelle stagioni inverno ed estate del 2003. Nel caso dell'immagine acquisita dal sensore ETM+ (Fig. 3.18.a), la data è anteriore a luglio 2003 e quindi ancora regolarmente acquisita. Le immagini della figura rappresentano un finestra estratta dall'intera scena acquisita dal sensore e centrata sull'area di studio dell'isola di Ischia. Sul lato destro delle immagini si vede chiaramente il cono del vulcano del Vesuvio (Napoli) che nell'immagine del 07/02/2003 è ancora coperto di neve. In particolare, le immagini 3.18.b e 3.18.d mostrano la banda termica in scala di grigi dove i valori massimi sono rappresentati dai bianchi ed i minimi dai neri. Per le due immagini sono state utilizzate due scale diverse per ottimizzare i toni di grigio e visualizzare il massimo numero di dettagli per l'area di interesse. E' importante ricordare che nell'infrarosso termico la risoluzione spaziale è ridotta rispetto alle altre bande (120 m per TM e 60 m per ETM+) sebbene il dato venga ricampionato e distribuito alla risoluzione di 30 m. Questo tipo di dati possono essere convertiti in valori di temperatura superficiale e la disponibilità di dati in stagioni ed anni diverse permette l'individuazione delle variazioni termiche stagionale ed inter-annuale.

Le Fig. 3.19 e 3.20 presentano un esempio, sulle due aree di studio, di come la banda termica dei sensori TM/ETM+ possa fornire informazioni per la descrizione delle variazioni stagionali di temperatura. Le figure presentano la banda termica (non calibrata, quindi in DN) di quattro delle acquisizioni riassunte in Tab. 3.6; i toni di colore rosso/giallo rappresentano i valori più alti, in questo caso di *digital number*. I dati relativi alle acquisizioni del 2011 e 2012 mostrano l'effetto

descritto nel paragrafo 3.3 (*SLC-off*) dovuto alla rottura di un componente del satellite. Tuttavia i dati acquisiti sono stati inclusi perché il sensore ETM+ fornisce una risoluzione spaziale nella banda termica di 60 m rispetto a 120 m del sensore TM.

Le immagini presentate nelle figure mostrano come la topografia sia il fattore più influente sulla variazione spaziale di temperatura superficiale. L'analisi di questi dati deve quindi tenere conto e ridurre al minimo l'influenza di questo tipo di fattori 'esterni' per poter individuare le anomalie termiche superficiali eventualmente connesse a fenomeni geotermici.

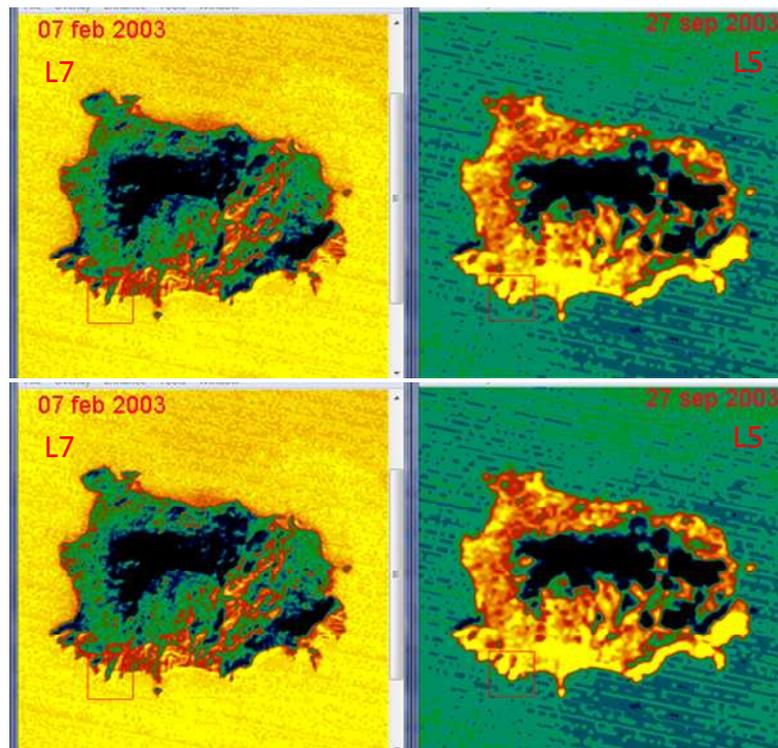


Fig. 3.19. Isola di Ischia: Banda termica Landsat per le date di Tab. 3.6. I colori rappresentano i *digital number* (dato non calibrato) dove giallo/rosso (nero/verde) sono i valori più alti (bassi).

La Fig. 3.21 presenta i profili estratti dall'immagine TM di Fig. 3.19.c per le bande del sensore TM nel visibile (bande 1, 2, 3), vicino infrarosso (4) e infrarosso medio (5-6). E' importante notare che nel grafico la banda denominata numero 6 corrisponde in realtà alla banda TM 7. I profili mostrano la riflettanza delle diverse superfici indicate in legenda, dove l'acqua è caratterizzata dai valori più bassi a causa dell'assorbimento della radiazione nelle bande TM. Il profilo della vegetazione (verde) presenta invece il tipico picco nell'infrarosso vicino (riflessione delle strutture intracellulari delle foglie) ed un minimo nelle lunghezze d'onda del rosso (banda TM 3) dove la clorofilla contenuta nelle parti verdi della vegetazione assorbe la radiazione.

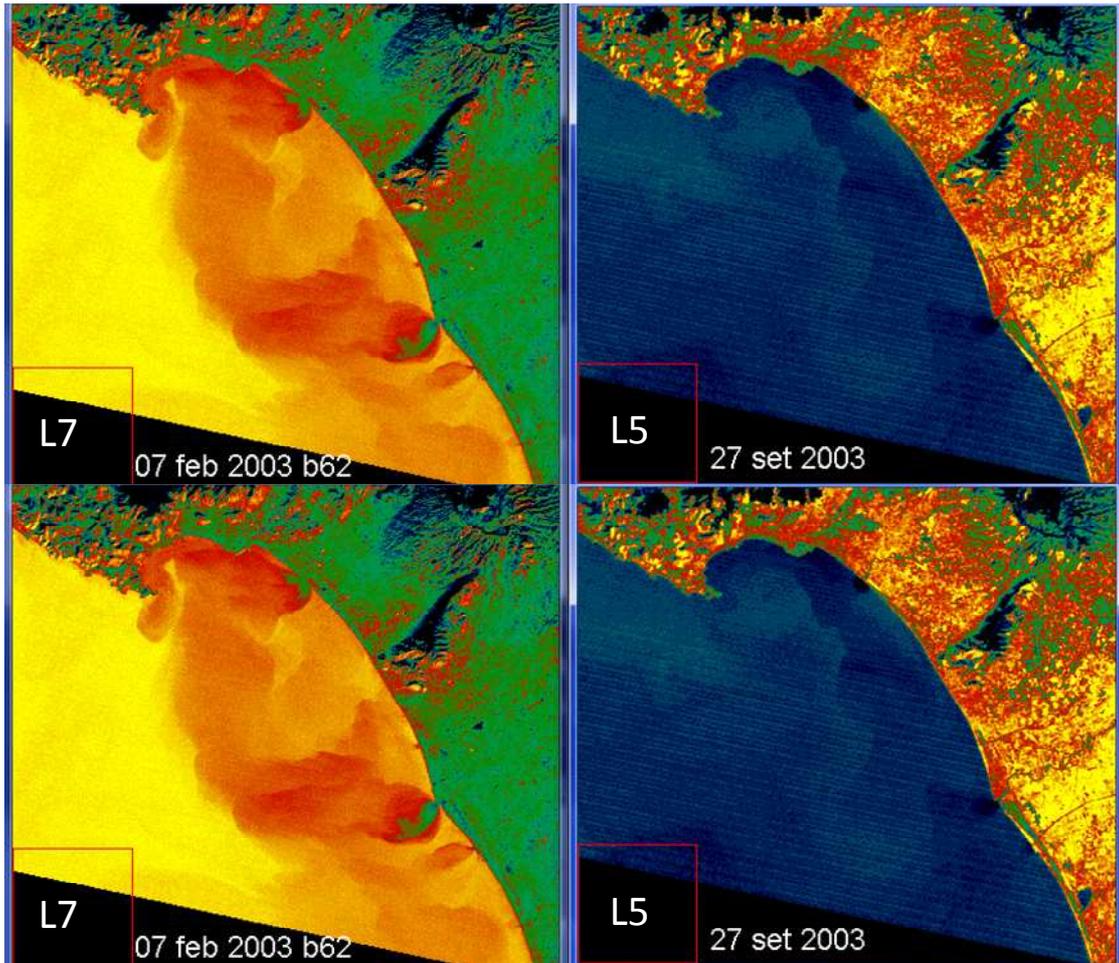


Fig. 3.20. Mondragone: banda termica Landsat per le date di Tab. 3.6. I colori rappresentano i *digital number* (dato non calibrato) dove giallo/rosso (nero/verde) sono i valori più alti (bassi).

L'analisi della riflettanza al suolo (corretta per l'effetto atmosferico) permetterà di individuare le diverse tipologie di copertura del suolo; informazione fondamentale per il calcolo dell'emissività e della temperatura superficiale.

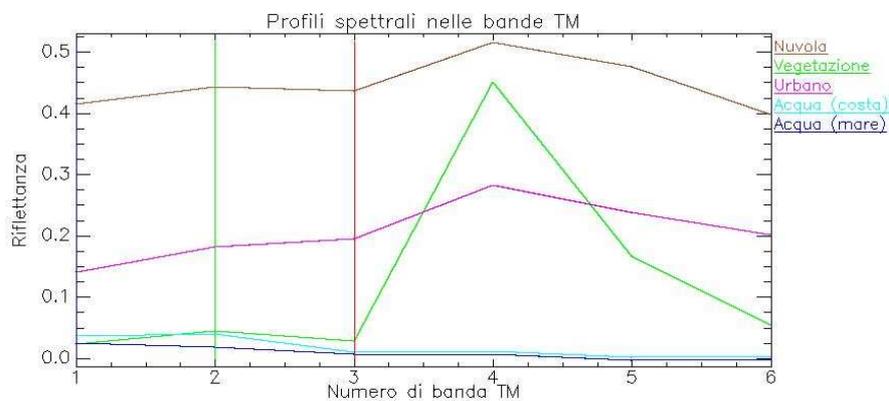


Fig. 3.21. Profili spettrali estratti dall'immagine Landsat TM (path/row 190/032) del 27/09/2003 estratti in corrispondenza di pixel con diversa copertura.

3.11 Analisi preliminare ad alta risoluzione spaziale: elementi strutturali e geotermia a Mondragone

L'area test di Mondragone è stata preliminarmente investigata attraverso l'elaborazione di immagini Landsat registrate in differenti periodi dell'anno.

L'area si caratterizza geologicamente dall'unità idrogeologica del Monte Massico che domina l'abitato di Mondragone. Il Monte Massico è una dorsale carbonatica, strutturalmente assai complessa, contornata da depositi piroclastici e lavici essendo ubicato ai margini del complesso vulcanico di Roccamorfin. Solo lungo il margine meridionale del Monte Massico affiorano sedimenti terrigeni. Il M. Massico rappresenta un alto strutturale impostatosi lungo sistemi di faglia a direzione antiappenninica, separando di conseguenza le due depressioni costiere del Garigliano e del Volturno.

I sondaggi eseguiti lungo il margine sud-orientale dell'unità hanno mostrato l'esistenza di sedimenti terrigeni (probabili argille varicolori e flysch di copertura della serie carbonatica) sepolti sotto la copertura piroclastica. I sedimenti favoriscono quindi il deflusso delle acque di falda verso la piana del Garigliano: la struttura è infatti priva di sorgenti basali significative.

A nord-ovest di Mondragone, a circa tre chilometri dall'abitato, è ubicato il pozzo "Bagni Sulfurei". Esso, perforato per circa 40 metri in depositi alluvionali, eroga acque in pressione alla temperatura di circa 40°C e con un residuo fisso maggiore di 5 g/l. Si tratta di acque a ricambio lento che provengono dalla sottostante piattaforma carbonatica dopo aver attraversato, probabilmente, i depositi terrigeni di copertura. È certo che la loro mineralizzazione e termalità sia da attribuire soprattutto alla presenza dell'adiacente struttura vulcanica del Roccamorfin, analogamente a quanto avviene per le vicine terme di Suio. A tal proposito è interessante osservare che acque calde e molto mineralizzate sono state recentemente rinvenute in un pozzo perforato nei pressi di Falciano del Massico, alla base del massiccio carbonatico (Piano d'ambito ATO 2, 2003).

Le caratteristiche spettrali e spaziali delle immagini Landsat possono essere adatte allo studio della geologia strutturale e dei connessi rapporti potenziali con le manifestazioni geotermiche superficiali e profonde.

L'analisi strutturale dell'area viene effettuata elaborando ed interpretando le immagini Landsat ed applicando, in particolare, le cosiddette derivate o filtri direzionali.

In telerilevamento ed in fotointerpretazione per *allineamenti* o *lineazioni* si intendono tutti quei fenomeni che si manifestano nelle immagini con andamento continuo o discontinuo in forma rettilinea o quasi. Ogni allineamento che dopo un opportuno controllo, direttamente sul terreno o da fonti bibliografiche, mostri un chiaro significato geologico, sarà definito *lineamento* (Zilioli E., Antoninetti M., 1987).

Nelle immagini Landsat gli allineamenti sono evidenziati con un brusco passaggio di valore spettrale con andamento rettilineo fra pixel adiacenti. I filtri direzionali sono quindi utilizzati per enfatizzare il riconoscimento di questi elementi rettilinei lungo direzioni predeterminate (*edge enhancement*). Questi filtri possono quindi essere applicati per analizzare ogni direzione all'interno di uno spazio definito. La rappresentazione più semplice di tali filtri è, ad esempio, un kernel 3x3 del seguente tipo:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Variando i valori all'interno del kernel è quindi possibile scegliere le direzioni da enfatizzare.

La figura 3.22 rappresenta l'area di Mondragone con il Monte Massico ed il complesso vulcanico di Roccamorfinia a nord. L'area è rappresentata con l'immagine Landsat codificata in falso colore naturale (RGB=321) e con gli elementi lineari identificati in modalità preliminare sovrapposti in colore rosso.



Fig. 3.22. Area test di Mondragone, immagine Landsat ETM+ (path/row: 190-31) del 7 febbraio 2003, rappresentata in falsi colori naturali (RGB=321) e con gli elementi lineari identificati sovrapposti in rosso.

Nella figura 3.23 viene rappresentata un'elaborazione dell'immagine Landsat ETM+ acquisita sulla stessa area (190-31) il 27 settembre 2003 ed elaborata applicando due filtri con direzione 45° e 90°. Le linee rappresentate in rosso sono il risultato di una preliminare fotointerpretazione delle immagini, e non hanno nessun certo significato geologico. Nelle aree di pianura l'identificazione di elementi lineari con possibile genesi geologico-strutturale risulta essere molto più complicata a causa dell'intensa antropizzazione. Sono in particolare evidenti gli allineamenti di strade, canali irrigui, limiti dei campi agricoli e centri urbani.

Gli elementi lineari così identificati possono quindi essere messi a confronto con i valori di temperatura superficiale (LST) derivati dalla banda termica del Landsat. Nell'immagine 3.24 gli elementi lineari vengono sovrapposti alle immagini che rappresentano i valori assoluti di temperatura minimi e massimi registrati in otto immagini Landsat TM/ETM+ acquisite per il frame 190-31 (path/row) tra febbraio ed ottobre del 2003, esenti da copertura nuvolosa. In tal modo, eventuali aree adiacenti ai lineamenti e caratterizzate da temperature significativamente superiori rispetto alle aree circostanti, potrebbero essere indicative di anomalie termiche. Queste aree

richiedono un' ulteriore analisi condotta tramite sia immagini telerilevate o mappe tematiche eventualmente integrate con rilievi sul terreno al fine di identificare con certezza la sorgente dell'anomalia termica osservata (fig. 3.24).

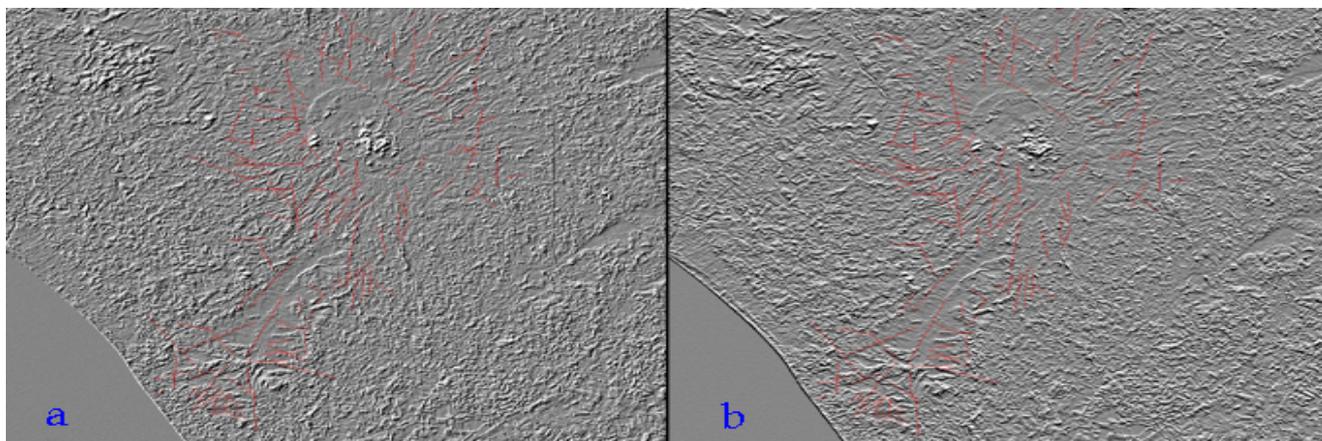


Fig. 3.23. Immagine Landsat TM 190-31 elaborata applicando i filtri direzionali a 45° (a) a 90° (b), ed evidenziando alcuni elementi lineari in rosso.

Valori anomali di LST possono essere interpretati come validi indicatori di fenomeni geotermali. Occorre però considerare che altri fattori possono influenzare le misure di temperatura superficiale, quali, ad esempio, la radiazione solare incidente e riflessa, la morfologia e la copertura del suolo.

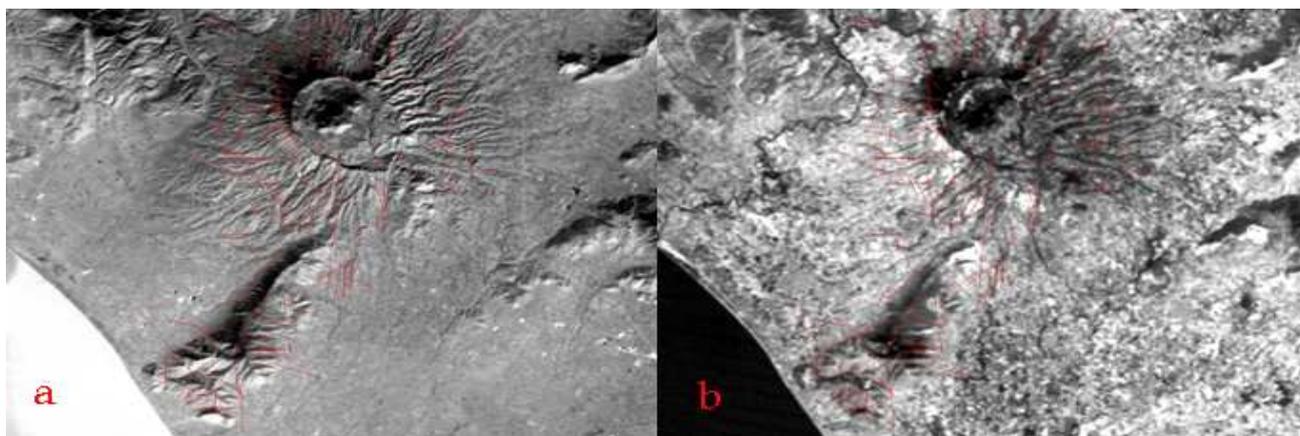


Fig. 3.24. a) Temperatura superficiale (LST) minima per l'area test di Mondragone ottenuta dall'elaborazione di otto acquisizioni Landsat TM/ETM+ nell'anno 2003; b) LST massima per l'area test ottenuta come la temperatura minima e dalle stesse acquisizioni TM. Ad entrambe le immagini sono stati sovrapposti gli elementi lineari identificati dall'elaborazione ottenuta tramite filtri direzionali.

4. Conclusioni ed attività future

Nel seguito sono brevemente riportate le attività che IREA ha svolto nel corso del primo anno di progetto e che propone di svolgere in relazione ad una possibile prosecuzione dello stesso.

4.1 Interferometria Differenziale SAR

Le attività che IREA ha svolto nel corso del primo anno di progetto sono relative all'analisi a bassa ed alta risoluzione spaziale delle due aree di interesse dell'Atlante Geotermico: Ischia e Mondragone.

Per quanto riguarda l'isola di Ischia, l'analisi a bassa risoluzione ha rivelato la presenza di un significativo pattern di deformazione, imputabile a fenomeni di instabilità di versante, che interessa tutti i fianchi del Monte Epomeo e una deformazione più localizzata corrispondente alla nota frana di Fango (nel settore nord-occidentale dell'isola). Inoltre, ha mostrato la presenza di un fenomeno deformativo, caratterizzato da un rate di 4-5 mm/anno, relativo all'area di Casamicciola Terme, probabilmente legato ad un processo di alterazione idrotermale dei depositi basali che costituiscono il substrato dell'isola. Inoltre, mediante l'utilizzo dell'analisi ad alta risoluzione è stato possibile individuare la presenza di un numero esiguo di edifici e singole infrastrutture per le quali sono stati misurati spostamenti di alcuni cm nel periodo di tempo esaminato.

Per quanto riguarda l'area di Mondragone, l'analisi a bassa risoluzione spaziale ha rivelato la presenza di un pattern deformativo caratterizzato da un rate di circa 1mm/anno, imputabile probabilmente alla subsidenza che interessa l'intera Piana Campana. L'analisi ad alta risoluzione ha mostrato la presenza di alcune strutture a carico delle quali sono stati individuati fenomeni deformativi molto localizzati spazialmente.

Come attività futura, l'IREA propone di effettuare l'analisi delle deformazioni superficiali a bassa ed alta risoluzione delle due aree di test utilizzando dati SAR acquisiti anche da orbite ascendenti. Ciò consentirà di analizzare il comportamento temporale in avvicinamento o allontanamento ai sensori radar delle due aree da un altro angolo di vista, consentendo di ottenere misure di deformazione anche in zone, che per motivi vari (layover, shadowing, ecc.) non sono state esaminate nel caso di dati SAR acquisiti da orbite discendenti. Inoltre, la disponibilità del doppio data-set consentirà anche, mediante una semplice, ma efficace combinazione dei risultati ottenuti sfruttando dati SAR acquisiti da orbite discendenti e ascendenti, di individuare le componenti verticale ed est-ovest dello spostamento, fornendo, in tal modo, informazioni significative per l'analisi delle deformazioni superficiali avvenute nelle due aree nel ventennio 1992-2010.

In alternativa, l'IREA propone per la prosecuzione del progetto di effettuare l'analisi delle deformazioni superficiali a bassa ed alta risoluzione spaziale (come fatto nel corso del primo anno di progetto relativamente alle aree di Ischia e Mondragone) dell'area della Daunia (Puglia). In tal modo, sarà possibile, utilizzando l'archivio di dati SAR acquisiti dai sensori ERS-1/2 ed ENVISAT dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) nell'intervallo temporale 1992-2010, generare mappe e serie temporali di deformazione "lunghe" nel tempo, che forniranno informazioni significative sull'evoluzione temporale delle deformazioni superficiali negli ultimi venti anni nell'area proposta.

4.2 Ottico ed infrarosso

Le attività proposte per il prosieguo del progetto sono descritte in maniera schematica di seguito. In particolare, per quanto riguarda i dati a scala regionale (MODIS-LST) si prevedono le seguenti attività:

- Successivamente all'analisi della correlazione tra MODIS LST e topografia e copertura del suolo, IREA si ripropone di analizzare i residui rispetto alle correlazioni trovate significative in modo da identificare aree di anomalia termica superficiali a scala regionale. Queste aree sono identificate in modo che i valori di LST siano indipendenti da topografia e caratteristiche della vegetazioni e quindi riconducibili ad altri fattori.
- Analisi delle serie temporali di LST in relazione all'andamento di indici di vegetazione (NDVI e EVI) per valutare l'effetto della stagionalità della copertura vegetale sulla temperatura;
- Analisi delle anomalie spaziali di LST sulla base di stratificazioni (segmentazione) dell'area di interesse estratte da informazioni ancillari come la classe di copertura vegetale, le formazioni geologiche, etc.

Per quanto riguarda le analisi a scala locale per le due aree di interesse di Ischia e Mondragone si prevedono le seguenti attività:

- Acquisizione, elaborazione ed interpretazione di immagini multispettrali ad alta risoluzione spaziale: Landsat TM/ETM+, ASTER (fig. 4.1) e Hyperion (fig. 4.2)
- Calcolo della temperatura al suolo a partire dalla banda termica delle immagini TM/ETM+, ASTER notturne, e Hyperion, tenendo conto dell'influenza dell'emissività in funzione delle diverse coperture del suolo;
- Confronto della temperatura estratta dalle serie temporali a bassa risoluzione spaziale e della temperatura stimata dalle immagini TM/ETM+;
- Identificazione e caratterizzazione degli elementi lineari con immagini Landsat elaborate;
- Analisi congiunta dei campi di lineamenti e delle temperature LST da immagini Landsat TM/ETM+ per le aree di Ischia e Mondragone con i valori di deformazione misurate con immagini SAR per caratterizzare al meglio la potenziale sinergia dei dati ottici e radar;
- Valutazione della possibilità di realizzare rilievi da aereo con sensori iperspettrali nel termico (ed eventualmente radar) per le aree di interesse.

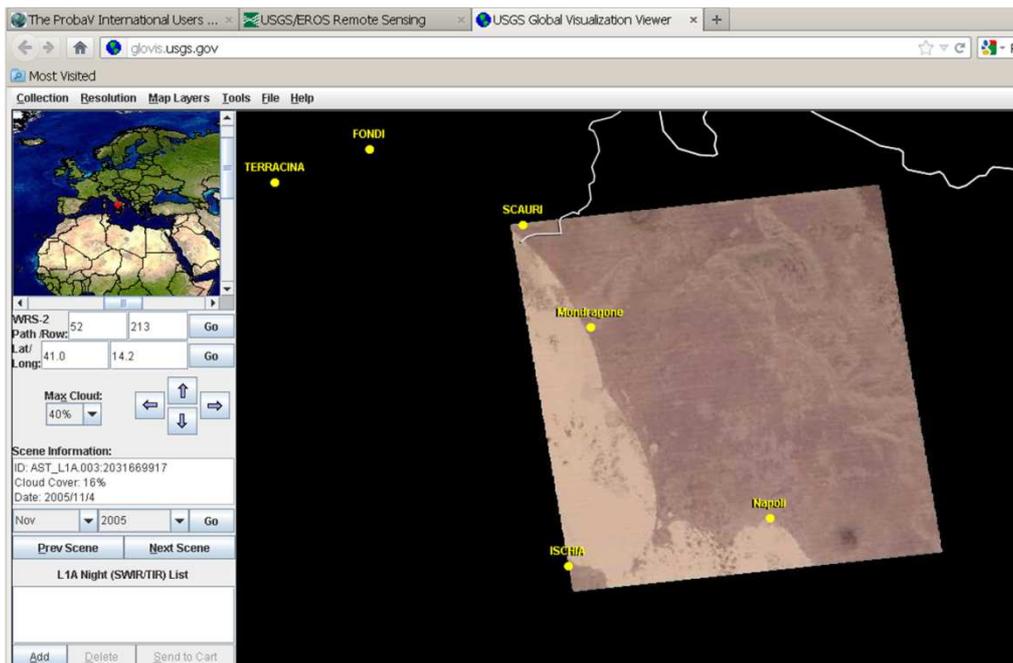


Fig. 4.1. Esempio di immagine ASTER notturna, ripresa il 4 novembre 2005 sull'area in esame. La risoluzione della banda termica è pari a 90 m. Le immagini possono essere acquisite dal medesimo sito web dove vengono acquisite le immagini Landsat.

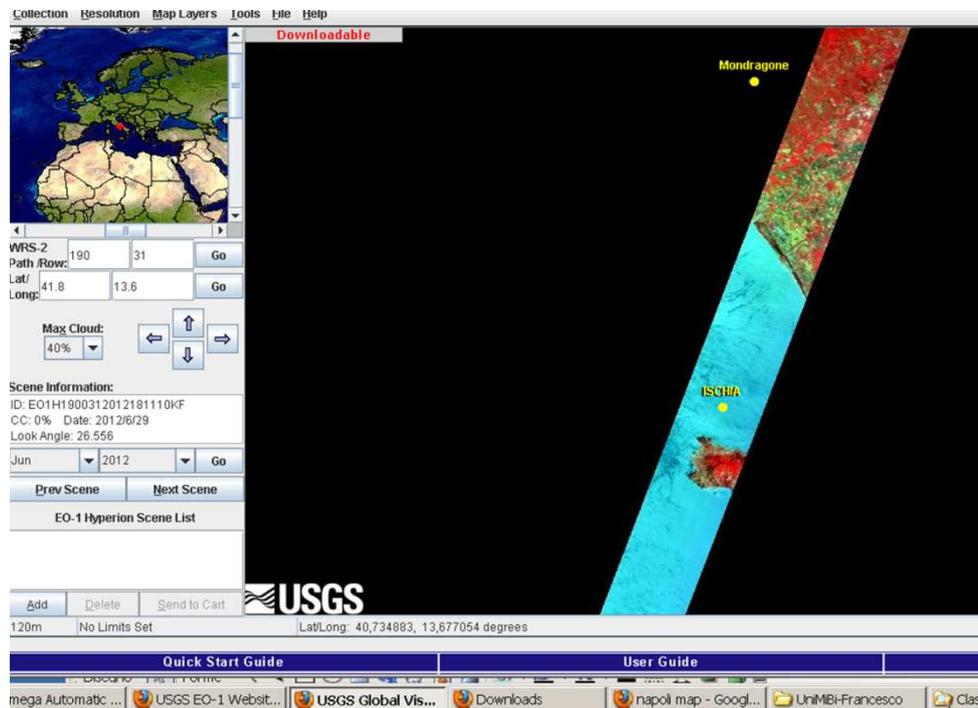


Fig. 4.2. Esempio di immagine Hyperion, ripresa il 1 luglio 2012 sull'area parziale dell'Isola d'Ischia. Il sensore fornisce immagini riprese in 220 bande spettrali (da 0,4 μm a 2,5 μm), con una risoluzione spaziale pari a 30 m. Il satellite riprende strisce di superficie larghe 7,5 km e lunghe 100 km. Le immagini possono essere acquisite dal medesimo sito web dove vengono acquisite le immagini Landsat.

Bibliografia

- Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., Sansosti, E., , 2002. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 40, No. 11, pp. 2375-2383.
- BHRA & ENEL, 1982. Geothermal Activity in Italy 1975-1981, Proc. in International Conference of Geothermal Energy, Florence (Italy).
- Brivio P. A., R. Cassinis, G. M. Lechi, A. Marini, and E. Zilioli, 1982. Heat Capacity Mapping Mission (HCMM) Program: Study of geological structure of Sicily and other Italian areas. NASA Resources Survey Program, NTIS n°E 82, 10073, September, 7, p. 24.
- Cassinis, R.; Tosi, N.; Lechi, G.M.; Brivio, P.A.; Zilioli, E.; Marini, A. Thermal inertia of rocks: An HCMM experiment on Sardinia, Italy. *Int. J. Remote Sens.* 1984, 5(1), 79-94.
- Carella R., Verdiani G., Palmerini C.G., Stefani G.C., 1984. Geothermal Activity in Italy: Present Status and Prospects, Seminar on Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production and Space Heating, Florence (Italy).
- Chander, G., Markham, B.L., Helder, D.L., 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, *Remote Sensing of Environment*, 113, 893-903.
- Galiano Rodríguez V.F., B. Ghimire, E. Pardo-Igúzquiza, M. Chica-Olmo, and R.G. Congalton, 2012. Incorporating the Downscaled Landsat TM Thermal Band in Land-cover Classification using Random Forest. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 78(2), 129–137.
- Lanari R., Mora O., Manunta O., Mallorquí J.J., Berardino P., Sansosti E., 2004. A Small Baseline Approach for Investigating Deformations on Full Resolution Differential SAR Interferograms, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 42 (7).
- Miliaresis G.C., 2009. Regional thermal and terrain modelling of the Afar Depression from MODIS multi-temporal monthly night LST data. *International Journal of Remote Sensing*, 30(9), 2429–2446.
- Miliaresis G.C., 2012. Elevation, Latitude/Longitude Decorrelation Stretch of Multitemporal LST Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 78(2), 151–160.
- Pepe, A., E. Sansosti, P. Berardino and R. Lanari, 2005. On the Generation of ERS/ENVISAT DInSAR Time-Series Via the SBAS Technique, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 2, No 3, pp. 265-269.
- Piano d'ambito, ATO 2. Allegato 2: Geologia, idrogeologia e vulnerabilità della risorsa, 2003, www.ato2campania.it, ultimo accesso 08 maggio 2012.
- Kahle, A.B.; Gillespie, A.R.; Goetz, A.F.H. Thermal inertia imaging: a new geologic mapping tool. *Geophys. Res. Letters* 1976, 3, 26-28.
- Qin, Q., Zhang, N., Nan, P., Chai, L., 2011. Geothermal area detection using Landsat ETM+ thermal infrared data and ist mechanistic analysis-A case study in tengchong, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13, 552-559.
- Rosen P. A., Hensley S., Joughin I.R., Li F.K., Madsen S.N., Rodriguez E. and Goldstein R., 2000. Synthetic Aperture Radar Interferometry, *IEE Proc.*, vol. 88, pp. 333-376.
- Sommaruga C., Guglieminetti M., 1987. Energia Geotermica: impieghi e prospettive, Quaderni di ECOS, Rivista mensile a cura dell'ENI, in "Geotermia, Produzione e Utilizzazioni".
- Vermote, E.F., Saleous, N., Justice, C.O., Kaufman, Y.J., Privette, J.L., Remer, L., Roger, J.C., Tanré, D., 1997. Atmospheric correction of visible to middle-infrared EOS-MODIS data over

land surfaces: Background, operational algorithm, and validation. *Journal of Geophysical Research* 102 (D14), 17,131-17,141, doi:10.1029/97JD00201.

Vermote, E.F., Saleous, N., Justice, C.O., 2002. Atmospheric correction of MODIS data in the visible to middle infrared: First results. *Remote Sensing of Environment* 83 (1-2), 97-111.

Wan, Z. and J. Dozier, "Land-surface temperature measurement from space: physical principles and inverse modeling," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 27, no. 3, pp. 268-278, 1989.

Wan, Z., and Dozier, J., 1996. A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34(4), 892– 905.

Zilioli E., Antoninetti M., 1987. Geotectonic evolution of the southern alps: lineaments trends detected on Landsat images. *Remote Sensing of Environment*, 23-3, pp.479-492

EMFCSC

DIRECTOR OF THE INTERNATIONAL SCHOOL OF GEOPHYSICS

Enzo Boschi
Department of Physics, Università di Bologna, Italy

DIRECTORS OF THE COURSE

Ernst Huenges • GFZ, Potsdam • Germany
Adele Manzella • CNR-IGG, Pisa • Italy
Fedora Quattrocchi • INGV, Rome • Italy

Some grants for registration fee will be awarded.

For further information please contact:

School Secretariat
phone +39 06 51860.386/733/761
fax +39 06 51860.740
Ericegeo2012@ingv.it

GFZ

Telegrafenberg • 14473 Potsdam • Germany
www.gfz-potsdam.de

CNR-IGG

Via G. Moruzzi 1 • 56124 Pisa • Italy
www.igg.cnr.it

INGV

Via di Vigna Murata 605 • 00143 Rome • Italy
www.ingv.it

under the aegis of:



Ettore Majorana Foundation and Centre for Scientific Culture (EMFCSC)
Erice • TP • Sicily • Italy

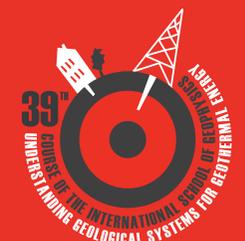
25TH SEPTEMBER @ 1ST OCTOBER 2012

39TH

COURSE OF THE INTERNATIONAL SCHOOL OF GEOPHYSICS

UNDERSTANDING GEOLOGICAL SYSTEMS FOR GEOTHERMAL ENERGY

main sponsor: CNR and INGV
minor sponsor: magma ENERGY ITALIA



39TH COURSE OF THE INTERNATIONAL SCHOOL OF GEOPHYSICS

25TH SEPTEMBER ☉ 1ST OCTOBER 2012

☉ SCOPE OF THE INTERNATIONAL SCHOOL

The Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - INGV in collaboration with the Consiglio Nazionale delle Ricerche - CNR and the Deutsches GeoForschungsZentrum - GFZ organize the 39th Course of the International School of Geophysics to be held from September 25 - October 1, 2012 at the "Ettore Majorana" Foundation and Centre for Scientific Culture in Erice (Sicily, Italy).

The Course will focus on geological, geophysical, geochemical methods and on engineering techniques applied to the evaluation of geothermal potential. Also the school will centre on synergies and conflicting issues that may result from the simultaneous use of the underground by different technologies.

☉ KEY TOPICS

- ☉ Geothermal generalities and assessment
- ☉ Unconventional geothermal systems and innovative technologies
- ☉ From indirect to direct knowledge.
How the understanding of underground conditions can improve planning:
 - what is necessary to know before drilling
 - input underground data for a proper planning of geothermal use
 - underground monitoring during drilling and exploitation
- ☉ Risk assessment & monitoring
- ☉ Non-technical issues:
 - incentives, tariffs, and regulatory framework
- ☉ Synergies and conflicting issues resulting from the simultaneous use of the underground by different technologies:
 - i.e. geological storage of CO₂, natural gas storage and waste disposal

☉ STRUCTURE OF THE INTERNATIONAL SCHOOL

TUESDAY SEPTEMBER 25

Arrival of participants in Erice, registration and room check-in throughout the day

WEDNESDAY SEPTEMBER 26

09:00 • 09:30 **Introductory Presentations**

09:30 • 12:50 Geothermal generalities and assessment

14:30 • 18:45 Unconventional geothermal systems and innovative technologies

20:00 Welcome cocktail and dinner

THURSDAY SEPTEMBER 27

08:45 • 13:00 From indirect to direct knowledge: how the understanding of underground conditions can improve planning

14:30 • 18:45 Risk assessment & monitoring

FRIDAY SEPTEMBER 28

09:00 • 12:45 Non-technical issues: incentives, tariffs and regulatory framework
Synergies and conflicting issues resulting from the simultaneous use of the underground by different technologies

13:30 • 19:00 Excursion to Calatafimi Spa

20:30 Conference dinner

SATURDAY SEPTEMBER 29

09:00 • 12:50 VIGOR and Atlante Projects
Characterizing regional geothermal systems

14:30 • 18:45 VIGOR and Atlante Projects
Characterizing shallow and deep geothermal systems

SUNDAY SEPTEMBER 30

09:00 • 10:40 VIGOR and Atlante Projects
Characterizing shallow and deep geothermal systems

11:10 • 13:00 Poster session

15:00 • 18:00 Round table

MONDAY OCTOBER 01

Departure from Erice

Lectures will be held in the S. Domenico Paul A.M. Dirac Lecture Hall

Poster viewing everyday during coffee breaks





Consiglio Nazionale delle Ricerche
Mezzogiorno



ATLANTE GEOTERMICO PER IL MEZZOGIORNO

Glossario bilingue e

Thesaurus Geotermico (preliminari)

A cura di CNR-IIA sede di Roma

Allegato n. 4

OR di riferimento

**OR4 - Informazione, promozione e formazione
professionale di ricercatori, tecnologi,
installatori e amministratori sugli usi della
geotermia**

ATLANTE

ATTRIBUTES

depth

PROPERTIES

abundance

air quality

bacterial quality

basicity

chemical potential

chemical properties

acidity

alkalinity

corrosion resistance

crystal defects

density

diffusivity

efficiency

electrical properties

electric conductivity

electric fields

electric potential

electric power

electrokinetic potential

emissivity

energy

energy of dissociation

expansibility

expansivity

flammability

fluorescence

formation heat

formation pressure

free entalpy

freezing potential

fugacity

heat

absorption heat

diluition heat

dissociation heat

fusion heat

heat of formation

heat of fusion

heat of mixing

heat of reaction

heat of solution

heat of sublimation

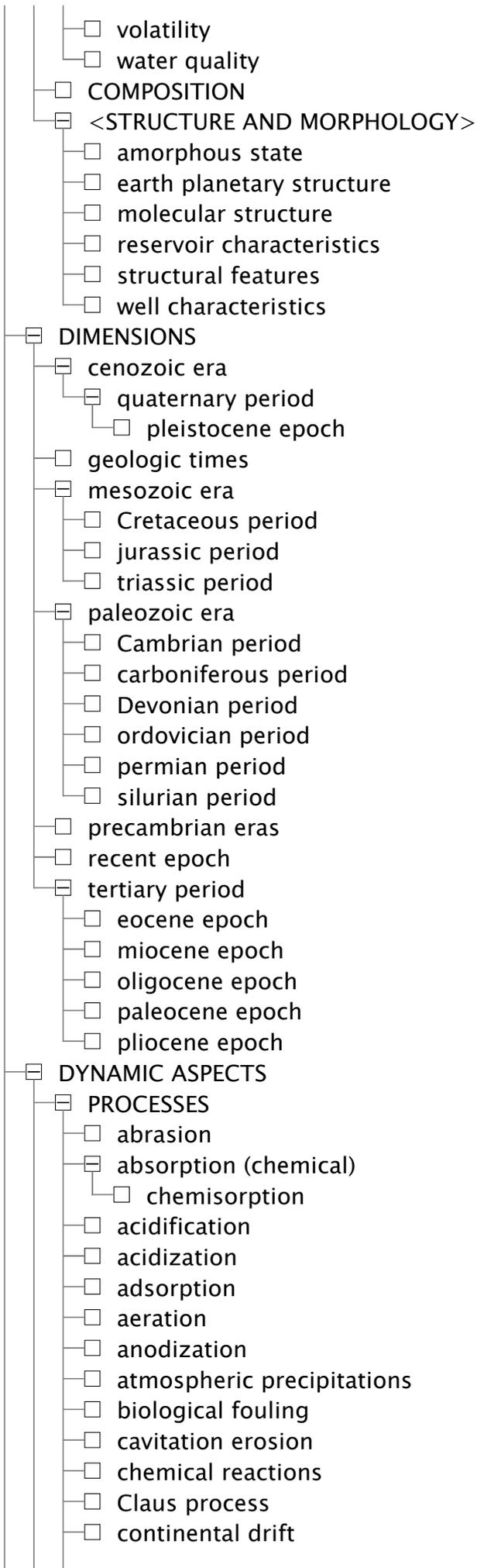
heat of transition

heat of vaporization

mixing heat

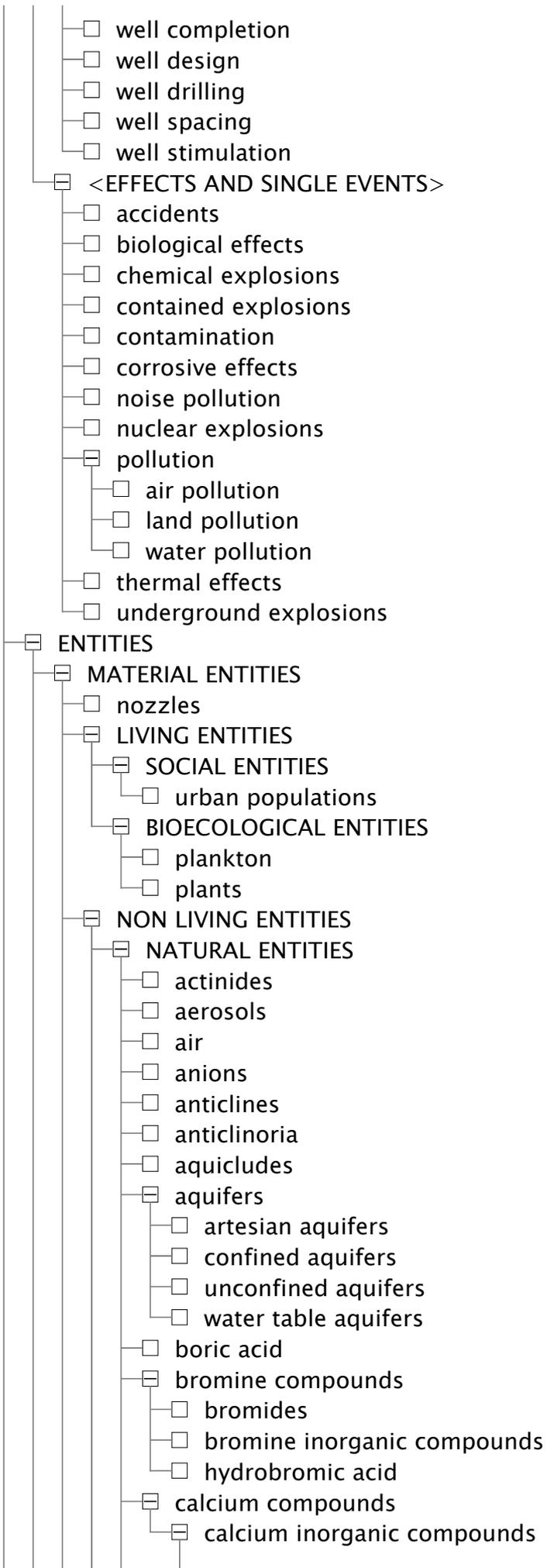
process heat

- reaction heat
- solution heat
- specific heat
 - apparent molal specific heat
 - partial molal specific heat
- sublimation heat
- transition heat
- vaporization heat
- waste heat
- heat capacity
- heat conductance
- infinite dilution
- mechanical properties
- odor
- permeability
- physical properties
 - compressibility
 - conductivity
 - optical properties
 - reflectivity
 - porosity
 - refraction
 - refractivity
- plasticity
- reservoir properties
- rock properties
- roughness
- salinity
- seismicity
 - microseismicity
- sensitivity
- solubility
- sound velocity
- steam quality
- surface potential
- surface properties
- surface temperature
- surface tension
- thermal conductivity
- thermal diffusion
- thermal diffusivity
- thermal efficiency
- thermal insulation
- thermodynamic properties
- toxicity
- transmissivity
- vapor pressure
- vapor solubility
- velocity of sound
- viscosity



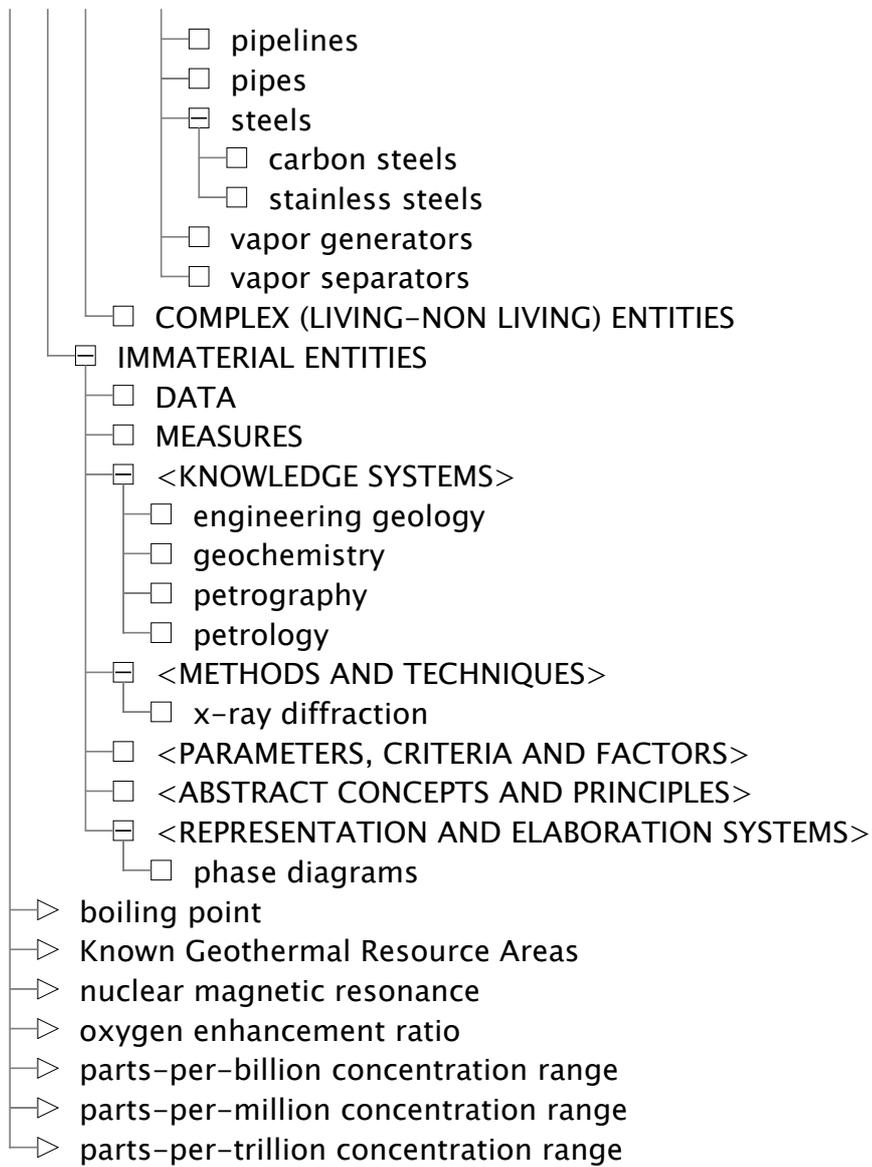
- convection
- convective heat transfer
- cooling
- corrosion
 - crevice corrosion
 - oxygen corrosion
- crystallization
- orogenesis
- oxidation
- paleomagnetism
- petrogenesis
- plastic deformation
- precipitation
- precipitations (atmospheric)
- radioactivity
- rain
- sea-floor spreading
- seasonal variations
- sedimentation
- separation processes
- solidification
- stress corrosion
- subsidence
- transport
- volcanism
- well interference
- CONDITIONS
 - aerobic conditions
 - anaerobic conditions
 - climate
 - concentration dependence
 - working conditions
- ACTIVITIES
 - acoustic logging
 - acoustic measurement
 - administration
 - aerial magnetic survey
 - aerial prospecting
 - aerial surveys
 - agriculture
 - air cleaning
 - air conditioning
 - air monitoring
 - air pollution control
 - aquifer rehabilitation
 - aquifer tests
 - artificial recharge
 - binary cycle power generation
 - bioassay
 - biological testing

- boring
- brine treatment
- calibration
- chemical treatment
- combined cycle power generation
- comparative evaluations
- computer programming
- construction
- control
 - corrosion control
 - water pollution control
- corrosion monitoring
- corrosion protection
- crystal seeding
- design
- laboratory studies
- noise pollution abatement
- noise pollution control
- planning
- pollution control
- pumping
- pump tests
- radioactive dating
- recovery processes
- reinjection
- resource development
- resource evaluations
- sampling
- site selection
- space heating
 - district heating
 - geothermal heating
 - industrial heating
 - steam heating
- telluric surveys
- temperature control
- temperature monitoring
- temperature surveys
- trade
- underground disposal
- waste disposal
- waste injection
- waste management
- waste processing
- waste storage
- waste transportation
- water monitoring
- water pollution abatement
- water treatments
- well cementing



- calcium carbonates
- calcium chlorides
- calcium fluorides
- calcium hydroxides
- calcium sulphates
- calderas
- chemical elements
 - aluminum
 - bromine
 - calcium
 - chlorine
 - phosphorous
 - platinum
 - plutonium
 - polonium
 - potassium
 - rubidium
 - samarium
 - thorium
 - trasuranium elements
 - tritium
 - uranium
- chlorine compounds
 - chlorides
 - chlorine inorganic compounds
 - hydrochloric acid
- <EARTH CONSTITUENTS AND MATERIALS>
 - minerals
 - adularia
 - albite
 - alunite
 - amphiboles
 - andesine
 - anhydrite
 - barite
 - biotite
 - calcite
 - carbonate minerals
 - chalcopyrite
 - chlorite minerals
 - clay minerals
 - cristobalite
 - dickite
 - dolomite minerals
 - fluorite
 - gibbsite
 - halide minerals
 - halite
 - illite
 - kaolinite

- magnetite
- montmorillonite
- muscovite
- oxide minerals
- plagioclases
- pyrites
 - copper pyrites
 - iron pyrites
 - pyrite
- pyrophyllite
- sericite
- serpentines
 - serpentine
- sodium minerals
- sphalerites
 - sphalerite
- sulphate minerals
- sulphide minerals
- tridymite
- wairakite
- zeolites
 - mordenite
- rocks
 - bauxite
 - cap rock
 - chemically precipitated rocks
 - evaporitic rocks
 - fragmental rocks
 - igneous rocks
 - aphanitic rocks
 - aphanite
 - extrusive rocks
 - andesites
 - andesite
 - intrusive rocks
 - anorthosite
 - granites
 - granite
 - granodiorites
 - granodiorite
 - pegmatite
 - peridotites
 - phaneritic rocks
 - phanerite
 - plutonic rocks
 - porphyritic rocks
 - pyroclastic rocks
 - rhyolites
 - rhyolite
 - volcanic rocks



Term_English	Term_Italian	EARTH
2-methylpropane	2-metilpropano	
abatement	abbattimento	
abrasion	abrasione	*
absorption (chemical)	assorbimento (chimico)	*
absorption heat	calore di adsorbimento	
absorption spectroscopy	spettroscopia di assorbimento	
abundance	abbondanza	*
accidents	incidente	*
accuracy	accuratezza	*
acidification	acidificazione	*
acidity	acidità	*
acidization	acidificazione	
acids	acidi	*
acoustic logging	carotaggio acustico	*
acoustic measurement	misurazioni acustiche	
actinides	attinidi	*
activation analysis	analisi di attivazione	*
activation energy	energia di attivazione	*
activity coefficient	coefficiente di attività	
additives	additivi	*
administration	amministrazione	*
Adriatic sea	mare Adriatico	
adsorption	adsorbimento	*
adularia	adularia	
aeration	aerazione	*
aerial magnetic survey	rilevamento aeromagnetico	
aerial prospecting	prospezione aerea	
aerial surveys	rilevamento aereo	*
aerobic conditions	condizioni aerobiche	*
aerosols	aerosol	*
agriculture	agricoltura	*
Ahuachapan geothermal field		
air	aria	*
air analysis	analisi dell'aria	
air cleaning	pulizia dell'aria	
air cleaning systems	sistemi per la pulizia dell'aria	
air conditioners	condizionatori d'aria	
air conditioning	condizionamento dell'aria	*
air ejectors	estrattori d'aria	
air filters	filtri per l'aria	
air monitoring	monitoraggio dell'aria	*
air pollution	inquinamento dell'aria	*
air pollution control	controllo dell'inquinamento dell'aria	
air pollution monitors	apparecchiature per il controllo dell'inquinamento atmosferico	
air quality	qualità dell'aria	*
airborne particulates	particolato aerodisperso	
albedo	albedo	*
albite	albite	*
alkali metals	metalli alcalini	*

alkaline earth metals	metalli alcalino-terrosi	*
alkalinity	alcalinità	*
alkanes	alcani	*
alloys	leghe	*
alluvial deposits	depositi alluvionali	*
alluvium	deposito alluvionale	*
altitude	altitudine	*
alum rock	allume di rocca	
aluminum	alluminio	*
aluminum hydroxides	idrossidi di alluminio	
aluminum inorganic compounds	composti inorganici di alluminio	
aluminum oxides	ossidi di alluminio	*
aluminum silicates	silicati di alluminio	
alumite	alumite	
alumstone	allume	
alunite	alunite	
ammonia	ammoniaca	*
amorphous scale		
amorphous state	stato amorfo	
amphiboles	anfiboli	*
amphibolite	amfibolite	
anaerobic conditions	condizione anaerobica	*
andesine	andesina	
andesite	andesite	
andesites	andesiti	*
anhydrite	anidrite	*
animals	animali	*
anions	anioni	*
anodization	anodizzazione	
anorthosite	anortosite	
anthropogenic occurrence		
anticlines	anticlinale	*
anticlinoria	anticlinorio	*
antimony	antimonio	*
apartment buildings	condomini	*
aphanite	afanite	
aphanitic rocks	roccia afanitica	
apparent molal specific heat		
apparent molal volume	volume molare apparente	
aquatic ecosystems	ecosistema acquatico	*
aquatic habitats	habitat acquatico	
aqueous solutions	soluzione acquosa	*
aquicludes	acquicludi	*
aquifer rehabilitation		
aquifer tests	prove di acquifero	
aquifers	acquiferi	*
aquitards	aquitardo	*
argon	argon	*
argon isotopes	isotopi dell'argon	
argon-36	argon-36	
argon-40	argon-40	

Arrhenius equation	equazione di Arrhenius	
arsenic	arsenico	*
artesian aquifers	acquiferi artesiani	*
artesian basins	bacini artesiani	*
artesian head	carico artesiano	*
artesian water	acque artesiane	
artesian wells	pozzi artesiani	*
artificial recharge	ravvenamento artificiale	*
astatine	astato	*
atmospheric precipitations	precipitazione atmosferica	*
autoclaves	autoclave	
bacteria	batteri	*
bacterial quality	qualità batterica	
balneology	balneologia	
barite	barite	*
barium	bario	*
barium chlorides	cloruro di bario	
barium inorganic compounds	composti inorganici di bario	
barium sulfates	solfo di bario	
basalt	basalti	*
bases	basi	
basicity	basicità	*
batholiths	batolite	*
bauxite	bauxite	*
bays	baie	*
beryllium	berillio	*
bibliographies	bibliografie	
binary cycle power generation	generazione di elettricità con impianti a ciclo binario	
binary-fluid systems		
bioassay	saggio biologico	*
biological effects	effetto biologico	
biological fouling	incrostazione biologica	
biological testing	test biologico	*
biology	biologia	*
biosphere	biosfera	*
biotite	biotite	*
bismuth	bismuto	*
blackbody radiation	radiazione di corpo nero	
blowouts		
boilers	caldaie	*
boiling	ebollizione	*
boiling point	punto di ebollizione	*
boiling points		
borates	borati	*
boreholes	fori di sondaggio	
boric acid	acido borico	
boring	trivellazione	
boron	boro	*
boron inorganic compounds	composti inorganici di boro	
bottom hole pressure	pressione di fondo	

bottom hole pumps	pompe di fondo	
bottom hole temperature	temperatura di fondo	
Brayton cycle	ciclo di Brayton-Joule	*
Brayton cycle power systems		
brine treatment	trattamento di salamoie	
brines	salamoia	
bromides	bromuri	*
bromine	bromo	*
bromine compounds	composti del bromo	
bromine inorganic compounds	composti inorganici di bromo	
budgets	budget	
buildings	edifici	*
by-products	sottoprodotti	*
cadmium	cadmio	*
cadmium inorganic compounds	composti inorganici di cadmio	
cadmium iodides	ioduro di cadmio	
calcite	calcite	*
calcium	calcio	*
calcium carbonates	carbonato di calcio	
calcium chlorides	cloruro di calcio	
calcium compounds	composti del calcio	
calcium fluorides	fluoruro di calcio	
calcium hydroxides	idrossido di calcio	
calcium inorganic compounds	composti inorganici di calcio	
calcium sulphates	solfo di calcio	
calculation methods	metodi di calcolo	*
calderas	caldera	*
calibration	calibratura	*
calorifiers	scaldabagno	
calorimeters	calorimetro	
calorimetry	calorimetria	
Cambrian period	Cambriano	
cap rock	roccia di copertura	*
capital	capitale	
carbon	carbonio	*
carbon dioxide	diossido di carbonio	*
carbon inorganic compounds	composti inorganici di carbonio	
carbon isotopes	isotopi di carbonio	
carbon steels	acciai al carbonio	
carbon-12	carbonio-12	
carbon-13	carbonio-13	
carbonate minerals	carbonati (minerali)	*
carbonate rocks	rocce carbonatiche	*
carbonates	carbonati	*
carboniferous period	Carbonifero	
Carnot cycle	ciclo di Carnot	
case histories		
catalysts	catalizzatori	*
cations	cationi	*
caves	grotte	*
cavitation erosion	erosione per cavitazione	

cavities	cavità	
cenozoic era	Cenozoico	
central heating plants	impianti termici centralizzati	
cesium	cesio	
cesium chlorides	cloruro di cesio	
cesium inorganic compounds	composti inorganici di cesio	
chalcedony	calcedonio	
chalcopyrite	calcopirite	
charges	cariche	
charts	grafici	
chelates	chelati	
chelating agents	agenti chelanti	
chemical analysis	analisi chimiche	*
chemical analysis methods	metodi di analisi chimica	
chemical compatibility	compatibilità chimica	
chemical composition	composizione chimica	*
chemical effluents	effluenti chimici	
chemical elements	elementi chimici	*
chemical equilibrium	equilibrio chimico	
chemical equilibrium codes		
chemical explosions	esplosione chimica	
chemical explosives	esplosivo chimico	
chemical potential	potenziale chimico	
chemical properties	proprietà chimiche	*
chemical reaction kinetics	cinetica delle reazioni chimiche	
chemical reactions	reazioni chimiche	*
chemical treatment	trattamento chimico	
chemically precipitated rocks	rocce di precipitazione chimica	
chemisorption	chemiadsorbimento	*
chemistry	chimica	*
chert	selce	*
chlorides	cloruri	*
chlorine	cloro	*
chlorine compounds	composti del cloro	*
chlorine inorganic compounds	composti inorganici del cloro	
chlorite minerals	cloriti	*
chromatography	cromatografia	*
chromium	cromo	*
clastic rocks	rocce clastiche	*
Claus process	processo di Claus	
clay minerals	minerali delle argille	
climate	clima	*
closed-cycle systems	sistemi a ciclo chiuso	
coatings	rivestimenti	*
cobalt inorganic compounds	composti inorganici del cobalto	
cobalt sulfates	solfo di cobalto	
coefficient of thermal expansion	coefficiente di espansione termica	
collecting tanks	serbatoi di raccolta	
colorimetry	colorimetria	*
combined cycle power generation		
combined cycle power plants	centrali a ciclo combinato	*

combined cycles	ciclo combinato	
commercial buildings	edifici commerciali	
communities	comunità	*
comparative evaluations	valutazioni comparative	
complexes		
compressibility	compressibilità	*
compressors	compressori	*
computer calculations		
computer codes	codice	
computer programming	programmazione (informatica)	
computer programs	programma per computer	*
computers	computer	*
concentration (0.10-1.00 molal)	concentrazione (0,10-1,0 molare)	
concentration (<0.01 molal)	concentrazione (<0,01 molare)	
concentration (>1.0 molal)	concentrazione (>1,0 molare)	
concentration (0.01-0.10 molal)	concentrazione (0,01-0,10 molare)	
concentration (infinite dilution)	concentrazione (diluizione infinita)	
concentration (parts per billion)	concentrazione (parti per miliardo)	
concentration (parts per million)	concentrazione (parti per milione)	
concentration (parts per trillion)	concentrazione (parti per bilione)	
concentration dependence	dipendenza dalla concentrazione	
concordant intrusions	intrusione concordante	
condensates	condensato	
condensers (steam)	condensatore (vapor d'acqua)	
condensers (vapor)	condensatore (vapore)	
conductivity	conduttività	*
conferences	conferenze	*
confined aquifers	acquiferi confinati	*
confined ground water	acque sotterranee confinate	
connate water	acqua connata	*
construction	costruzione	*
consumption rates		
contained explosions		
contamination	contaminazione	*
continental crust	crosta continentale	*
continental drift	deriva dei continenti	*
continental shelf	piattaforma continentale	
continental shelves	piattaforme continentali	*
continental slopes	scarpata continentale	*
continentl shields	scudi continentali	
continents	continenti	*
contraction	contrazione	
control	controllo	*
control systems	sistema di controllo	*
convection	convezione	*
convection cells	celle di convezione	
convective heat transfer	trasferimento del calore per convezione	
cooling	raffreddamento	*
cooling ponds	piscine di raffreddamento	*
cooling systems	sistemi di raffreddamento	*
cooling towers	torri di raffreddamento	*

coordination number		
copper	rame	*
copper inorganic compounds	composti inorganici del rame	
copper pyrites	piriti cuprifere	
copper sulfides	solfo di rame	
corrosion	corrosione	*
corrosion control	controllo della corrosione	
corrosion inhibitors	inibitori della corrosione	*
corrosion monitoring	monitoraggio della corrosione	
corrosion products	prodotti della corrosione	
corrosion protection	protezione dalla corrosione	
corrosion resistance	resistenza alla corrosione	
corrosion resistant alloys	leghe resistenti alla corrosione	
corrosive effects	effetto della corrosione	
cost	costo	*
costs	costi	*
cracks		
craters	crateri	*
Cretaceous period	Cretaceo	
crevice corrosion	corrosione interstiziale	
cristobalite	cristobalite	
critical point	punto critico	
critical pressure	pressione critica	
critical temperature	temperatura critica	
crust	crosta	
crystal defects	difetto cristallino	
crystal seeding		
crystallization	cristallizzazione	*
crystallography	cristallografia	*
crystals	cristallo	*
Curie point	punto di Curie	
curves	curva	
data	dati	*
data acquisition systems	sistemi di acquisizione di dati	
data analysis	analisi dei dati	*
data processing	elaborazione dati	*
decomposition	decomposizione	*
deep drilling	perforazione profonda	*
deep wells	pozzi profondi	
deformation	deformazione	*
demineralization	demineralizzazione	
demineralizers	demineralizzatori	
demography	demografia	*
density	densità	*
density gradients	gradiente di densità	
deposition	deposizione	*
depth	profondità	
desalinization	desalinazione	*
descaling	disincrostazione	
deserts	deserti	*
design	progettazione	*

dessication	essiccazione	*
desuphurization	desolforazione	*
deuteration	deuterazione	
deuterium	deuterio	*
deuterium oxide	ossido di deuterio	
Devonian period	Devoniano	
diabase	diabase	
diagenesis	diagenesi	*
diagrams	diagramma	*
diastrophism	diastrofismo	
dickite	dickite	
dielectric constant	costante dielettrica	*
differential balances	bilancio differenziale	
diffusion	diffusione	*
diffusion coefficient	coefficiente di diffusione	
diffusivity	diffusività	*
dike intrusions	dicco	
dilatometers	dilatometri	*
dilution	diluizione	*
dilution heat	calore di diluizione	
dilute solutions	soluzione diluita	
dip logging		
dipmeter logging	misurazione dipmeter	
direct energy utilization	uso diretto dell'energia	
discharge lines	linee di deflusso	
discharge rate		
discordant intrusions	intrusione discordante	
disposal formations		
disposal wells	pozzi di scarico	*
dissociation	dissociazione ionica	*
dissociation constant	costante di dissociazione	
dissociation energy	energia di dissociazione	
dissociation gases		
dissociation heat	calore di dissociazione	
dissolved gases	gas disciolti	*
dissolved solids	solidi disciolti	
distribution	distribuzione	*
district heating	riscaldamento urbano	*
disturbances	perturbazione	*
document types	tipo di documento	*
documentation	documentazione	
dolomite minerals	minerali dolomitici	
dolomite rocks	rocce dolomitiche	
downhole pressure	pressione di fondo pozzo	
downhole pumps	pompe di fondo pozzo	
downhole sampling		
downhole temperature	temperatura di fondo pozzo	
drainage systems	sistema di drenaggio	*
drawdown	abbassamento piezometrico	
drill bits	punte per perforazione	
drill cores	carote	

drill holes	perforazioni	
drill pipes	aste di perforazione	
drill strings	batteria di aste di perforazione	
drilling equipment	attrezzature per perforazioni	*
drilling fluids	fluidi di perforazione	*
drilling muds	fanghi di perforazione	*
drilling rigs	impianto di trivellazione	*
drills		
drinking water	acqua potabile	*
dry-steam systems	sistemi a vapore secco	
Earth atmosphere	atmosfera terrestre	
Earth core	nucleo terrestre	*
Earth crust	crosta terrestre	*
earth current surveys		
Earth interior	interno della Terra	*
Earth movements	movimenti della Terra	
Earth planet	pianeta Terra	
earth planetary structure	struttura della terra	
earthquake swarms	sciame sismico	*
earthquakes	terremoto	*
East Mesa geothermal field		
ebullioscopes	ebullioscopio	
ecology	ecologia	*
economics	scienze economiche	*
ecosystems	ecosistemi	*
education	educazione	*
efficiency	efficienza	
El Tatio geothermal field		
elastic deformation	deformazione elastica	
electric cables	cavi elettrici	
electric conductivity	conduttività elettrica	*
electric fields	campo elettrico	*
electric generators	generatori elettrici	
electric heating	riscaldamento elettrico	
electric measuring instruments		
electric potential	potenziale elettrico	
electric power	potenza elettrica	*
electric power plants	impianti di produzione di energia elettrica	
electrical equipment	attrezzatura elettrica	
electrical logging	log elettrico	*
electrical properties	proprietà elettriche	*
electrical surveys	prospezione elettrica	*
electrochemical corrosion	corrosione elettrochimica	
electrochemistry	elettrochimica	
electrodes	elettrodi	*
electrodialysis	elettrodialisi	*
electrokinetic potential	potenziale elettrocinetico	
electrolysis	elettrolisi	*
electrolytes	elettroliti	
electrolytic corrosion	corrosione elettrolitica	
electromagnetic radiation	radiazione elettromagnetica	*

electromagnetic surveys	prospezione elettromagnetica	*
electromotive force	forza elettromotiva	
electron microprobe analysis	analisi alla microsonda elettronica	
electron microscopes	microscopia elettronica	*
electronic interference	interferenza elettronica	
elements	elementi	*
elevated concentration	concentrazione elevata	
elevated pressure	pressione elevata	
elevated temperature	temperatura elevata	
elongation	allungamento	
emission spectroscopy	spettroscopia di emissione	
emissivity	emissività	
empirical equations	equazioni empiriche	
energy	energia	*
energy balance	bilancio energetico	*
energy conservation	conservazione dell'energia	*
energy consumption	consumo di energia	*
energy demand	fabbisogno energetico	*
energy of dissociation	energia di dissociazione	
energy policy	politica energetica	*
energy reserves	riserve di energia	
energy sources	fonti di energia	*
energy storage	accumulo di energia	*
energy supplies	fornitura di energia	*
energy volume coefficient		
energy yield	produzione di energia	
engineering	ingegneria	*
engineering geology	geotecnica	
enhanced recovery	recupero assistito	
enthalpy	entalpia	*
entropy	entropia	*
environment	ambiente	*
environmental effects	effetti sull'ambiente	*
environmental impact statements	rapporto di impatto ambientale	*
eocene epoch	Eocene	
epeirogeny	epirogenesi	
epidotes	epidoto	*
equilibrium	equilibrio	*
equilibrium constant	costante di equilibrio	
equipment	apparecchiature	*
erosion	erosione	*
errors	errore	*
eruption	eruzione	
europium	europio	
evaporation	evaporazione	*
evaporation ponds	bacini di evaporazione	
evaporators	evaporatore	
evaporites	evaporiti	*
evaporitic rocks	rocce evaporitiche	*
expansibility		
expansion	dilatiazione	

expansivity		
expenses	spese	
experimental results	risultati sperimentali	
experimental techniques	tecniche sperimentali	
exploitation	sfruttamento	*
exploration	esplorazione	*
exploration methods	metodo di esplorazione	
exploratory wells	pozzo esplorativo	
explosions	esplosione	*
explosive stimulation		
explosives	esplosivi	*
extraction (heat)	estrazione (calore)	
extrusive rocks	rocce effusive	*
fabrication		
failures	guasto	
fatigue	snervamento	*
fault activation	attivazione di una faglia	
fault systems	sistema di faglie	
faults	faglie	*
fauna	fauna	*
feasibility studies	studio di fattibilità	*
feldspars	feldspati	*
ferromagnetism	ferromagnetismo	
field studies	ricerca sul campo	*
filtration	filtrazione (chimica)	*
financing	finanziamento	*
fire hazards	pericolo di incendio	*
fires	incendio	*
fishes	pesci	*
fissures	fessure	
flame photometry	fotometria di fiamma	*
flammability	infiammabilità	*
flash evaporation	evaporazione flash	
flashing		
float valves	valvola a galleggiante	
flocculating agents	flocculante	*
flocculation	flocculazione	*
flora	flora	*
flow calorimeters	calorimetri a flusso	
flow charts	diagramma di flusso	
flow models	modelli di flusso	
flow rate		
flowmetres	flussometro	*
fluid disposal	smaltimento di liquidi	
fluid flow	flusso di fluidi	
fluid mechanics	meccanica dei fluidi	*
fluid quality	qualità dei fluidi	
fluid withdrawal	emungimento di fluidi	
fluids	fluido	*
fluorescence	fluorescenza	*
fluorescence X-ray analysis	analisi per fluorescenza RX	*

fluorides	fluoruri	*
fluorine	fluoro	*
fluorine inorganic compounds	composti inorganici del fluoro	
fluorite	fluorite	*
fold systems	sistema di pieghe	
folds	piega	*
forecasting	previsione	*
formation damage	danneggiamento delle formazioni	
formation heat	calore di formazione	
formation pressure	pressione di formazione	
fossil fuels	combustibili fossili	*
fossil-fuel power plants	centrali a combustibili fossili	
fouling		
fracture properties		
fractures	fratture	*
fragmental rocks		
francium	francio	
Frasch sulphur process	processo Frasch	
free energy	energia libera	*
free entalpy	entalpia libera	
free ground water	falde libere	*
freezing point	punto di congelamento	*
freezing potential		
fresh water	acqua dolce	*
frost	gelata	*
fuel gas	gas combustibile	*
fuels	combustibili	*
fugacity	fugacità	*
fumaroles	fumarola	*
fumarolic fluids	fluidi fumarolici	
functional models	modelli funzionali	
fusion heat	calore di fusione	
gabbro	gabbri	*
galena	galena	*
gallium	gallio	*
galvanic corrosion	corrosione galvanica	
gamma radiation	radiazione gamma	*
gamma ray absorption	assorbimento di raggi gamma	
gamma ray logging	carotaggio a raggi gamma	
gamma ray surveys		
gamma spectroscopy	spettrometria gamma	*
gas analysis	analisi di gas	
gas chromatography	gascromatografia	*
gas ejectors		
gas heating	riscaldamento a gas	
gas turbine power generation	produzione di elettricità con turbina a gas	
gas turbine power plants	centrale con turbina a gas	
gas turbines	turbine a gas	*
gas wells	pozzi di gas	
gaseous wastes	rifiuti gassosi	
gases	gas	*

geanticlines	geoanticlinale	*
genesis	genesi	
geochemical surveys	rilevamento geochimico	
geochemical thermometres	termometri geochimici	
geochemistry	geochimica	*
geochronology	geocronologia	*
geodesy	geodesia	*
geographical distribution	distribuzione geografica	
geography	geografia	*
geohydrology	geoidrologia	
geologic control	controllo geologico	
geologic deposits	deposito geologico	
geologic faults	faglie geologiche	
geologic fissures	fessure geologiche	
geologic processes	processi geologici	*
geologic provinces	province geologiche	
geologic strata	strato (geologia)	
geologic structures	strutture geologiche	*
geologic thermometres	geotermometri	
geologic thermometry	geotermometria	*
geologic times	tempo geologico	*
geological engineering	geoingegneria	*
geological setting	assetto geologico	
geological surveys	rilevamento geologico	*
geology	geologia	*
geomagnetic field	campo geomagnetico	*
geomagnetism	geomagnetismo	*
geomorphology	geomorfologia	*
geophones	geofono	*
geophysical surveys	rilevamento geofisico	*
geophysics	geofisica	*
geopressured systems	sistemi geopressurizzati	
geosynclines	geosinclinali	*
geotectonics	geotettonica	
geothermal areas	area geotermica	
geothermal brines	salamoie geotermiche	
geothermal drilling	perforazioni geotermiche	
geothermal energy	energia geotermica	*
geothermal energy conversion	conversione dell'energia geotermica	
geothermal exploration	prospezione geotermica	
geothermal fields	campo geotermico	*
geothermal fluids	fluidi geotermic	
geothermal gradient surveys		
geothermal heat flow	flusso geotermico	*
geothermal heating	riscaldamento geotermico	
geothermal power plants	centrali geotermiche	*
geothermal refrigeration	raffreddamento geotermico	
geothermal regions	regione geotermica	
geothermal reservoirs	serbatoio geotermico	*
geothermal resources	risorse geotermiche	
geothermal space heating	riscaldamento geotermico	

geothermal steam	vapore geotermico	
geothermal systems	sistema geotermico	
geothermal wells	pozzi geotermici	
geothermometers	geotermometri	
geothermometry	geotermometria	*
germanium	germanio	*
geysers	geyser	
Geysers geothermal field		
Gibbs free energy	energia libera di Gibbs	
gibbsite	gibbsite	
glaciers	ghiacciai	*
glass transition temperature	temperatura di transizione vetrosa	
gold	oro	*
government policies	politica di governo	*
grabens	graben	*
granite	granito	
granites	graniti	*
granodiorite	granodiorite	
granodiorites	granodioriti	
graphs	diagramma	
gravel packing		
gravimetry	gravimetria	*
gravitation	gravitazione	*
gravitational fields	campo gravitazionale	*
gravity surveys	rilevamento gravimetrico	*
greenhouses	serre	*
ground motion	movimento del suolo	*
ground subsidence	subsidenza	*
ground water	acque sotterranee	*
ground water depletion	esaurimento della falda	
ground water flow	flusso sotterraneo	*
ground water hydrology	idrologia sotterranea	*
ground water level	livello della falda acquifera	*
ground water recharge	ricarica della falda	
ground water reservoirs		
growth	crescita	*
gypsum	gesso	*
Hachimantai geothermal field		
halide minerals	alogenuri (minerali)	*
halides	alogenuri	
halite	alite	*
halogens	alogeni	*
Hatchobaru geothermal field		
hazards	rischio	*
head buildup		
head drawdown		
health hazards	rischio per la salute	*
heat	calore	*
heat balance	bilancio termico	*
heat budget	bilancio di calore	
heat capacity	capacità termica	

heat conductance		
heat content	contenuto di calore	
heat discharge	dispersione di calore	
heat effects	effetto del calore	
heat exchangers	scambiatore di calore	
heat extraction	estrazione di calore	
heat flow	flusso geotermico	*
heat flow surveys		
heat flux	flusso di calore	*
heat insulation	isolamento dal calore	
heat of dilution	calore di diluizione	
heat of dissociation	calore di dissociazione	
heat of formation	calore di formazione	
heat of fusion	calore di fusione	
heat of mixing	calore di mescolamento	
heat of reaction	calore di reazione	
heat of solution	calore di soluzione	
heat of sublimation	calore di sublimazione	
heat of transition	calore di transizione	
heat of vaporization	calore di vaporizzazione	
heat resisting alloys	leghe resistenti al calore	
heat sinks		
heat sources	fonte di calore	
heat storage	accumulo di calore	*
heat transfer	trasferimento di calore	*
heaters		
heating	riscaldamento	
heavy water	acqua pesante	
Heber geothermal field		
helium	elio	*
high concentration	alta concentrazione	
high pressure	alta pressione	
high temperature	alta temperatura	
hot springs	sorgente calda	
hot water heating	riscaldamento dell'acqua	
hot-dry-rock systems	sistemi in rocce calde secche	
hot-water systems		
houses	case	
human populations	popolazione umana	*
humans		
Hveragerdi geothermal field		
hydrates	idrato	
hydration	idratazione	*
hydration number	numero di idratazione	
hydraulic fracturing	fratturazione idraulica	
hydraulics	idraulica	*
hydroblasting	idrosabbiatura	
hydrobromic acid	acido idrobromico	
hydrocarbons	idrocarburi	*
hydrochloridic acid	acido cloridrico	*
hydrodynamics	idrodinamica	*

hydroelectric power	energia idroelettrica	
hydroelectric power plants	centrali idroelettriche	*
hydroelectricity	idroelettricit�	
hydrogen	idrogeno	*
hydrogen inorganic compounds	composti inorganici dell'idrogeno	
hydrogen ion concentration	concentrazione di ioni idrogeno	*
hydrogen isotopes	isotopi dell'idrogeno	
hydrogen sulfides measuring methods		
hydrogen sulphides	acido solfidrico	*
hydrogeology	idrogeologia	*
hydrology	idrologia	*
hydrolysis	idrolisi	*
hydrometers	densimetri	*
hydrosphere	idrosfera	*
hydrostatic head	carico idrostatico	
hydrostatic pressure	pressione idrostatica	*
hydrostatic weighing	pesata idrostatica	
hydrothermal alteration	alterazione idrotermale	*
hydrothermal stage	stadio idrotermale	
hydrothermal systems	sistema idrotermale	
hydroxide ion concentration	concentrazione degli ioni idrossido	
hydroxides	idrossidi	*
hyperfiltration	iperfiltrazione	
ice	ghiaccio	*
igneous intrusions		
igneous rocks	rocce ignee	
illite	illite	*
images	immagini	
impermeable dry rock		
index of refraction	indice di rifrazione	*
indium	indio	*
induction logging	carotaggio elettrico ad induzione	
industrial heating	riscaldamento (industria)	*
industrial plants	impianto industriale	
industrial wastes	rifiuti industriali	*
industry	industria	*
inert gases	gas inerti	
infinite dilution	diluizione infinita	
information	informazione	*
information needs	bisogni informativi	
information retrieval	recupero di informazioni	
information systems	sistemi informativi	*
infrared radiation	radiazione infrarossa	*
infrared surveys	rilevamento IR	*
inization constant		
injection pressure	pressione di iniezione	
injection pumps	pompe di iniezione	
injection rates		
injection wells	pozzi di iniezione	
injuries	lesione	*
inorganic acids	acidi inorganici	*

inorganic compounds	composti inorganici	*
in-situ mixing		
instruments (measuring)	strumenti	*
interference	interferenza	
interference tests	prove di interferenza	
international cooperation	cooperazione internazionale	*
international organization	organizzazioni internazionali	*
interstitial water	acqua interstiziale	
intrusions (igneous)	intrusione	*
intrusive rocks	rocce intrusive	*
invertebrates	invertebrati	*
inverted folds		
iodides	ioduri	*
iodine	iodio	*
iodine inorganic compounds	composti inorganici dello iodio	
ion exchange	scambio ionico	*
ion mobility	mobilità ionica	
ion pairs	coppie di ioni	
ionic equilibrium	equilibrio ionico	
ions	ioni	*
iron	ferro	*
iron carbonates	carbonato di ferro	
iron inorganic compounds	composti inorganici di ferro	
iron oxides	ossidi di ferro	
iron pyrites	piriti ferrose	
iron sulfides	solfuri di ferro	
irrigation	irrigazione	*
isentropic processes	processo isoentropico	
island arcs	arco insulare	*
islands	isole	*
isobutane	isobutano	
isopiestic measurement		
isostasy	isostasia	*
isoteniscope	isotenisoscopio	
isotope dating	datazione isotopica	
isotope effects	effetto isotopico	
isotope geothermometers	geotermometri isotopici	
isotope geothermometry	geotermometria isotopica	
isotope ratio	rapporto isotopico	
isotopes	isotopi	
isotopic analysis	analisi isotopica	
isotopic effects	effetto isotopico	
isotopic exchange	scambio isotopico	
jets		
jurassic period	Giurassico	
juvenile water	acqua giovanile	*
kaolin	caolino	*
kaolinite	caolinite	*
Kawerau geothermal field		
KGRAS		
kinetics	cinetica	*

Kizildere geothermal field		
Known Geothermal Resource Areas		
krypton	cripton	*
krypton isotopes	isotopi del kripton	
krypton radioisotopes	radioisotopi del kripton	
laboratory equipment	attrezzature da laboratorio	*
laboratory studies	prova di laboratorio	*
lakes	laghi	*
land leasing		
land pollution	inquinamento del terreno	
land pollution abatement		
land pollution control		
land reclamation	terra sottratta all'acqua	*
land subsidence	subsidenza	*
land use	uso del territorio	*
landslides	frana	*
Larderello geothermal field		
latent heat of fusion	calore latente di fusione	
latent heat of sublimation	calore latente di sublimazione	
latent heat of transition	calore latente di transizione	
latent heat of vaporization	calore latente di vaporizzazione	
lateral faults	faglia trascorrente	*
lava	lava	*
laws	legge	*
leaching	lisciviazione	*
lead	piombo	*
lead acetate method		
lead inorganic compounds	composti inorganici del piombo	
lead sulfides	solfori di piombo	
leases		
leasing		
legal aspects	aspetti legali	
legislation	legislazione	*
licensing	licenza	
limestone	calcari	*
limnology	limnologia	*
limonite	limonite	*
liquid flow	flusso di liquidi	
liquid wastes	rifiuti liquidi	*
liquid wastes disposal	smaltimento di rifiuti liquidi	*
liquid-dominated convective hydrothermal systems	sistemi idrotermali dominati dal moto convettivo dell'acqua	
liquids	liquido	*
lithium	litio	*
lithium bromides	bromuro di litio	
lithium chlorides	cloruro di litio	
lithium inorganic compounds	composti inorganici del litio	
lithium iodides	ioduro di litio	
lithology	litologia	*
low concentration	bassa concentrazione	
low pressure	bassa pressione	

low temperature	bassa temperatura	
lubricants	lubrificanti	*
magma	magma	*
magma reservoirs		
magma systems	sistemi magmatici	
Magmamax process	processo Magmamax	
magmatic water	acqua magmatica	*
magnesium	magnesio	*
magnesium carbonates	carbonato di magnesio	
magnesium chlorides	cloruro di magnesio	
magnesium compounds	composti del magnesio	
magnesium inorganic compounds	composti inorganici del magnesio	
magnesium silicates	silicato di magnesio	
magnesium sulfates	solfo di magnesio	
magnetic fields	campo magnetico	
magnetic float method		
magnetic induction logging	log di resistività ad induzione elettromagnetica	
magnetic logging	log magnetico	*
magnetic properties	proprietà magnetiche	*
magnetic surveys	rilevamento magnetico	*
magnetic susceptibility	suscettività magnetica	*
magnetism	magnetismo	*
magnetite	magnetite	
magnetization	magnetizzazione	*
magnetotelluric surveys	rilevamento magnetotellurico	*
maintenance	manutenzione	*
man	uomini	*
management	gestione	*
manganese	manganese	*
manuals	manuali	
maps	carte geografiche	*
marble	marmo	*
marine water	acque marine	*
market	mercato	*
marlstone	marne	*
mass transfer	scambio di materia	
materials testing	test dei materiali	*
mathematical models	modello matematico	*
mathematics	matematica	
Matsukawa geothermal field		
measuring instruments	strumenti di misura	*
measuring methods	metodi di misura	
mechanical properties	proprietà meccaniche	*
medium pressure	pressione media	
medium temperature	temperatura media	
meetings		
melting	fusione	*
melting point	punto di fusione	*
membranes	membrane	*
mercaptans	mercaptani	*
mercuric chloride method		

mercury	mercurio	*
mercury displacement method		
mesozoic era	Mesozoico	
metallic silver method		
metallography	metallografia	
metallurgy	metallurgia	*
metals	metalli	*
metamorphism	metamorfismo	*
metamorphic rocks	rocce metamorfiche	*
metamorphism (geology)	metamorfismo (geologia)	
metasomatism	metasomatismo	*
meteoric water	acque meteoriche	
meteorology	meteorologia	*
methane	metano	*
methodology	metodologie	*
methylene blue	blu di metilene	
methylene blue method	metodo al blu di metilene	
mica	mica	*
micas	miche	
microcline	microclino	*
microearthquakes	microterremoti	
microorganisms	microorganismi	*
microresistivity logging	log di microresistività	
microseism	microsisma	*
microseismicity	microsismicità	
mineral cycling		
mineral exploration	prospezione mineraria	*
mineral recovery		
mineral resources	risorse minerali	*
mineral springs	sorgenti minerali	*
mineral wastes	rifiuti minerali	*
mineralization	mineralizzazione	*
mineralogy	mineralogia	*
minerals	minerali	*
miocene epoch	Miocene	
mixing free energy	energia libera di mescolamento	
mixing heat	calore di mescolamento	
mixing volume	volume di mescolamento	
mixtures	miscele	*
mobile homes	case mobili	*
moderate concentration	concentrazione moderata	
moderate pressure	pressione moderata	
moderate temperature	temperatura moderata	
molal volume	volume molare	
molecular structure	struttura molecolare	*
molybdenum	molibdeno	*
monitoring	monitoraggio	*
monitoring wells	pozzi di monitoraggio	
monoclines	monoclinale	*
Monte Amiata geothermal field		
montmorillonite	montmorillonite	*

mordenite	mordenite	
mountains	montagne	*
moving boundary method		
municipal heating	riscaldamento urbano	
muscovite	muscovite	*
Namafjall geothermal field		
natural convection	convezione naturale	
natural gas	gas naturale	*
natural gas wells	pozzi di gas naturale	
natural occurrence	fenomeno naturale	
natural recharge	ravvenamento naturale	
natural steam	vapore naturale	
neon	neon	*
neutral pressure	pressione neutra	
neutral stress	tensione neutra	
neutralization	neutralizzazione	*
neutron activation analysis	analisi attivazione neutronica	*
neutron diffraction	diffrazione neutronica	
neutron logging	carotaggio neutronico	*
neutron scattering		
Ngawha geothermal field		
nickel	nicchel	*
nitrates	nitrati	*
nitric acid	acido nitrico	*
nitric monoxide	monossido di azoto	*
nitrogen	azoto	*
nitrogen dioxide	diossido di azoto	*
nitrogen inorganic compounds	composti inorganici dell'azoto	
nitrogen oxides	ossidi di azoto	*
nitrous oxide	protossido di azoto	*
NMR		
noble gases	gas nobili	*
noise	rumore	*
noise (sound)	rumore (suono)	
noise pollution	inquinamento acustico	*
noise pollution abatement	abbattimento dell'inquinamento acustico	
noise pollution control	controllo dell'inquinamento acustico	
nonaqueous solutions	soluzioni non acquose	
nonaqueous solvents	solventi non acquosi	
nonclastic rocks	rocce non clastiche	
noncondensable gases	gas non condensabili	
nonelectrical applications	applicazioni non elettriche	
nonmetals	elementi non metallici	*
normal faults	faglia normale	*
nozzles	ugello	
nuclear explosions	esplosione nucleare	*
nuclear explosives	esplosivi nucleari	
nuclear logging	carotaggio radioattivo	
nuclear magnetic resonance	risonanza magnetica nucleare	
nuclear power plants	centrali nucleari	
nucleation	nucleazione	

numerical analysis	analisi numerica	
numerical solution	soluzione numerica	
observation wells	pozzi esplorativi	*
obsidian	ossidiana	
ocean basins	bacino oceanico	*
ocean ridges	dorsale oceanica	*
ocean water	acque oceaniche	*
oceanic crust	crosta oceanica	*
oceans	oceani	*
odor	odore	*
OER		
office buildings	edificio per uffici	*
oil drilling	perforazione petrolifera	*
oil shale	scisti bituminosi	*
oil shales	scisti bituminosi	
oil stimulation	stimolazione del greggio	
oil wells	pozzi petroliferi	*
oilfield brines	acqua di giacimento	
oligocene epoch	Oligocene	
olivines	olivine	*
Onikobe geothermal field		
on-line control systems	sistemi di controllo in linea	
on-line measurement field		
opal	opale	*
opaline scale		
open-cycle systems	sistemi a ciclo aperto	
operations	operazioni	
optical properties	proprietà ottiche	
optimization	ottimizzazione	
Orakeikorato geothermal field		
ordovician period	Ordoviciano	
ores	minerali metalliferi	*
organic acids	acidi organici	*
organic compounds	composti organici	*
origin	origine	
orogenesis	orogenesi	*
orthoclase	ortoclasio	*
osmosis	osmosi	*
osmotic coefficient	coefficiente osmotico	
osmotic pressure	pressione osmotica	
Ostwald viscometers	viscosimetro di Ostwald	
Otake geothermal field		
overdraft	prelievo eccessivo	*
overturned folds	piega rovesciata	*
oxidation	ossidazione	*
oxidation-reduction potential	potenziale di ossidoriduzione	
oxide minerals	ossidi (minerali)	*
oxides	ossidi	*
oxygen	ossigeno	*
oxygen 16	ossigeno 16	
oxygen 18	ossigeno 18	

oxygen corrosion	corrosione da ossigeno	
oxygen enhancement ratio		
oxygen inorganic compounds	composti inorganici dell'ossigeno	
oxygen isotopes	isotopi dell'ossigeno	
oxygen scavenging		
ozone	ozono	*
paints	vernici	*
paleocene epoch	Paleocene	
paleomagnetism	paleomagnetismo	*
paleozoic era	Paleozoico	
partial molal entropy	entropia molare parziale	
partial molal free energy	energia libera molare parziale	
partial molal specific heat	calore specifico molare parziale	
partial molal volume	volume molare parziale	
particles	particelle	*
parts-per-billion concentration range		
parts-per-million concentration range		
parts-per-trillion concentration range		
Pathe geothermal field		
Pauzhetsk geothermal field		
pegmatite	pegmatite	
performance	prestazione	
performance testing	test delle prestazioni	
peridotites	peridotiti	
permafrost	permafrost	*
permeability	permeabilità	*
permeability restoration	ripristino della permeabilità	
permian period	Permiano	
personnel	personale	*
perturbations		
petrogenesis	petrogenesi	*
petrography	petrografia	*
petroleum exploration	esplorazioni petrolifere	
petroleum industry	industria del petrolio	*
petrology	petrologia	
pH adjustment	aggiustamento del pH	
pH dependence	dipendenza dal pH	
pH value	valore di pH	
phanerite	fanerite	
phaneritic rocks	rocce faneritiche	
phase diagrams	diagramma di fase	
phase transformations	trasformazioni di fase	
phosphates	fosfati	*
phosphoric acid	acido fosforico	*
phosphorous	fosforo	*
phosphorous compounds	composti del fosforo	*
phosphorous inorganic compound	composti inorganici del fosforo	
photochemistry	fotochimica	
photographs	fotografie	
phreatic water	falde freatiche	*
physical chemistry	chimica fisica	*

physical properties	proprietà fisiche	*
physiological effects	effetto fisiologico	*
piestic water	acquiferi artesiani	
piezometers	piezometro	
piezometry	piezometria	*
pilot plants	impianti pilota	*
pipe fittings	raccordi per tubazioni	
pipeline pigs	scovoli per tubi (pig)	
pipelines	condotta	*
pipes	condutture	*
piston displacement method		
pitting corrosion	pitting	
plagioclases	plagioclasa	*
plankton	plancton	*
planning	pianificazione	*
plants	piante	*
plants (industrial)	impianto industriale	*
plastic deformation	deformazione plastica	
plasticity	plasticità	*
plate tectonics	tettonica a placche	*
platinum	platino	*
pleistocene epoch	Pleistocene	
pliocene epoch	Pliocene	
plugging	tappaggio dei tubi	
plutonic rocks	rocce plutoniche	
plutonic water		
plutonium	plutonio	*
plutons	plutone	*
pollution	inquinamento	*
pollution control	controllo dell'inquinamento	*
pollution control equipment	dispositivi per il controllo dell'inquinamento	*
pollution laws	leggi sull'inquinamento	*
pollution regulations	norme sull'inquinamento	
polonium	polonio	*
polymerization	polimerizzazione	*
polymerization rate	tasso di polimerizzazione	
polymers	polimeri	*
populations	popolazione	*
pore pressure	pressione neutra	*
porosity	porosità	*
porous materials	materiale poroso	
porous media	mezzo poroso	*
porphyritic rocks	roccia porfirica	
porphyry	porfido	*
potassium	potassio	*
potassium bromides	bromuro di potassio	
potassium carbonates	carbonato di potassio	
potassium chlorides	cloruro di potassio	
potassium fluorides	fluoruro di potassio	
potassium hydroxides	idrossido di potassio	
potassium inorganic compounds	composti inorganici di potassio	

potassium iodides	ioduro di potassio	
potassium nitrates	nitrato di potassio	
potassium sulfates	solfo di potassio	
power	energia (power)	
power cycles	cicli energetici	
power generation	generazione di elettricità	*
power plants	centrali elettriche	*
power potential	potenziale di produzione di energia	
power production	produzione di elettricità	
power transmission	trasmissione di potenza	
ppb concentration range		
ppm concentration range		
ppt concentration range		
precambrian eras	Precambriano	
precipitation	precipitazioni	
precipitations (atmospheric)	precipitazione atmosferica	*
pre-injection treatment		
pressure buildup	aumento di pressione	
pressure control	controllo della pressione	
pressure decline		
pressure dependence		
pressure drawdown		
pressure drop		
pressure gradients	gradiente di pressione	
pressure measurement	misura della pressione	
pressure release		
proceedings	atti	
process heat		
producing wells		
production	produzione	*
productivity	produttività	*
profits	profitto netto	*
programming	programmazione (informatica)	
project independence		
prospecting		
public health	salute pubblica	
public lands		
public utilities		
pumice	pomice	
pump tests	test di pompaggio	
pumping	pompaggio	
pumps	pompe	
pycnometers	picnometri	
pyrite	pirite	
pyrites	piriti	
pyroclastic rocks	rocce piroclastiche	
pyrophyllite		
pyroxenes	pirosseni	
qualitative chemical analysis	analisi chimica qualitativa	
quantitative chemical analysis	analisi chimica quantitativa	
quantity ratio		

quartz	quarzo	
quaternary period	Quaternario	
radiant heat transfer		
radiators		
radioactive dating	datazione radiometrica	
radioactive wastes	rifiuti radioattivi	
radioactivity	radioattività	*
radioactivity logging	carotaggio radioattivo	
radioactivity surveys		
radioisotopes	radioisotopi	
radiometers	radiometri	
radiometric surveys		
radium	radio	
radium 226	radio 226	
radium isotopes	isotopi del radio	
radon	radon	
radon 222	radon 222	
radon 226	radon 226	
radon isotopes	isotopi del radon	
rain	pioggia	*
rain water	acqua piovana	
Rankine cycle	ciclo Rankine	
Rankine cycle power systems		
rare earths	terre rare	
rare gases	gas rari	
rate constant		
Rayleigh waves	onde di Rayleigh	
reaction heat	calore di reazione	
reaction kinetics (chemical)	cinetica di reazione (chimica)	
reaction rate	tasso di reazione	
reaming		
recent epoch		
recharge		
recharge wells		
reclamation (land)		
recommendations		
recording systems		
recovery processes		
redox potential	potenziale redox	
redox reactions	reazioni redox	
reefs	scogliere	
reflectivity	riflettività	*
refraction	rifrazione	
refractive index		
refractivity	rifrattività	
regional analysis		
regulations	regolamenti	
regulatory guides		
reinjection	reiniezione	
reinjection wells		
relaxation time		

reliability	
remote control	
remote sensing	telerilevamento
replacement (metamorphic)	
replacement (mineral)	
Reporoa geothermal field	
research programs	programmi di ricerca
reserves	
reservoir characteristics	caratteristiche del bacino di raccolta
reservoir compaction	
reservoir engineering	
reservoir pressure	
reservoir properties	
reservoir temperature	
residential structures	
resistivity exploration	
resistivity logging	log di resistività
resistivity method	metodo di resistività
resistivity surveys	
resource availability	disponibilità di risorse
resource depletion	esaurimento di risorse
resource development	sviluppo di risorse
resource evaluations	valutazione di risorse
resource locating	localizzazione di risorse
resurgent water	
reverse faults	faglie inverse
reverse osmosis	osmosi inversa
reversed folds	pieghe inverse
reviews	
rhyolite	riolite
rhyolites	rioliti
rift valleys	
rift zones	zone di rift
rivers	fiumi
rock beds	
rock drilling	
rock mechanics	meccanica delle rocce
rock properties	proprietà della roccia
rocks	rocce
rotary drills	
rotating generators	
Rotokawa geothermal field	
rotors	
roughness	rugosità
rubidium	rubidio
rural areas	aree rurali
rural populations	popolazioni rurali
safety	sicurezza
safety engineering	ingegneria della sicurezza
safety standards	norme di sicurezza
saline aquifers	

*

salinity	salinità	
salt deposits	depositi salini	
Salton Sea geothermal field		
salts	sali	
samarium	samario	
sampling	campionamento	
sampling methods	metodi di campionamento	
sand	sabbia	
sand control		
sandstone	arenaria	
sandstones	arenarie	
saturated vapor	vapore saturo	
saturation	saturazione	
scale composition	composizione delle incrostazioni	
scale monitoring	monitoraggio delle incrostazioni	
scale removal	disincrostazione	
scaling	incrostazioni	
scaling control	controllo delle incrostazioni	
schist	scisto	
schists	scisti	
scrubbers		
scrubbing		
sea-floor spreading	espansione del fondo marino	
seas	mari	
seasonal variations	variazioni stagionali	*
seawater	acqua di mare	
secondary recovery		
sedimentary rocks	rocce sedimentarie	
sedimentation	sedimentazione	
sedimentology	sedimentologia	
sediments	sedimenti	
seismic detection		
seismic detectors		
seismic effects	effetti sismici	
seismic events	eventi sismici	
seismic noise	rumore sismico	
seismic P waves	onde P	
seismic reflection surveys	rilievo sismico a riflessione	
seismic refraction surveys	rilievo sismico a rifrazione	
seismic S waves	onde S	
seismic sources	fonti sismiche	
seismic surveys	rilevamento sismico	*
seismic waves	onde sismiche	
seismicity	sismicità	
seismographs	sismografi	
seismology	sismologia	
selenium	selenio	
self-potential surveys	metodo del potenziale spontaneo	
semimetals	semimetalli	
semipermeable membranes	membrane semipermeabili	
sensitivity	sensibilità	*

separation processes	processo di separazione	
sericite	sericite	
serpentine	serpentino	
serpentines	serpentine	
shale	scisto	
shales	scisti	
shear waves	onde di taglio	
silicic acids	acidi silicici	
silicon	silicio	
silicon dioxide	silice	
silicon inorganic compounds	composti inorganici del silicio	
silicon oxides	ossidi del silicio	
sill intrusions	sill	*
siltstone	siltite	
silurian period	Siluriano	
silver	argento	
silver chlorides	cloruro di argento	
silver inorganic compounds	composti inorganici dell'argento	
silver nitrate method		
silver nitrates	nitrato di argento	
simulation silver sulfates		
sinters		
site selection	scelta del sito	*
slate	ardesie	*
snow	neve	
socio-economic factors	fattori socio-economici	
soda-lime feldspar		
sodium	sodio	
sodium bromides	bromuro di sodio	
sodium carbonates	carbonati di sodio	
sodium chlorides	cloruro di sodio	
sodium fluorides	fluoruro di sodio	
sodium hydroxides	idrossido di sodio	
sodium inorganic compounds	composti inorganici del sodio	
sodium iodides	ioduro di sodio	
sodium minerals		
sodium nitrates	nitrati di sodio	
sodium nitroprusside method		
sodium sulfates	solfati di sodio	
software	software	
soil air	aria del suolo	
soil atmosphere	atmosfera del suolo	
soil gases	gas del suolo	
soil mechanics	meccanica delle terre	
soils	suoli	
solar ponds	stagno solare	
solfatargas	solfare	
solid solution	soluzione solida	
solid wastes	rifiuti solidi	
solidification	solidificazione	
solubility	solubilità	

solubility product	prodotto di solubilità	
solution heat	calore di soluzione	
solutions	soluzioni	
solvents	solventi	
sonic logging	carotaggio sonico	
sonic measurements	misure soniche	
sound velocity	velocità del suono	
sound waves	onde sonore	
space heating	riscaldamento	
specific heat	calore specifico	
specifications	specifiche tecniche	
spectrometric surveys		
spectroscopy	spettroscopia	
sphalerite	sfalerite	
sphalerites	sfaleriti	
springs (water)	sorgenti idriche	
stable isotopes	isotopi stabili	
stack disposal		
stainless steels	acciai inossidabili	
standard pressure	pressione standard	
standard temperature	temperatura standard	
stators	statore	
steam	vapore	
steam condensate		
steam condensers	condensatori di vapore	
steam flashing		
steam generators	generatori di vapore	
steam heating	riscaldamento a vapore	
steam mufflers	silenzianti di sfiato	
steam power plants	centrale termoelettrica a vapore	
steam quality	qualità del vapore	
steam scrubbers		
steam separators	separatori di vapore	
steam turbines	turbine a vapore	
steels	acciai	
stock intrusions	stock intrusivo	
stored energy	energia immagazzinata	
strata	strati	
stratigraphic control	controllo stratigrafico	
stratigraphy	stratigrafia	
stratosphere	stratosfera	
streams	corsi d'acqua	*
strength (yield)	tensione di snervamento	*
stress corrosion	tensocorrosione	
stresses	sforzo	*
Stretford process		
strontium	stronzio	
strontium chlorides	cloruro di stronzio	
strontium inorganic compounds	composti inorganici dello stronzio	
strontium sulfates	solforati di stronzio	
structural control	controllo strutturale	

structural features	caratteristiche strutturali	
structural models	modello strutturale	
sublimation heat	calore di sublimazione	
submarine trenches	fossa sottomarina	
subsidence	subsidenza	*
subsurface mapping		
subsurface reservoirs		
subsurface temperatures	temperatura subsuperficiale	
subsurface waters	acque subsuperficiali	
subterrene penetrators		
sulphate minerals		
sulphates	solfati	
sulphide minerals		
sulphides	solfuri	*
sulphur	zolfo	
sulphur 34	zolfo-34	
sulphur compounds	composti dello zolfo	
sulphur dioxide	diossido di zolfo	*
sulphur isotopes	isotopi dello zolfo	
sulphur organic compounds	composti organici dello zolfo	
sulphur oxides	ossidi di zolfo	
sulphuric acid	acido solforico	
superheating	surriscaldamento	
supersaturation	supersaturazione	
surface coating	rivestimento superficiale	
surface equipment	equipaggiamento in superficie	
surface potential	potenziale superficiale	
surface properties	proprietà superficiali	
surface temperature	temperatura superficiale	
surface tension	tensione superficiale	
surface waters	acque superficiali	
suspended solids	solidi in sospensione	
swimming pools	piscine	*
synclines	sinclinale	*
synclinoria	sinclinorium	*
tables	tavole	
Tauhara geothermal field		
taxes	tasse	
tectonics	tettonica	
tectonism	tettonismo	
Tekopia geothermal field		
telluric current exploration		
telluric surveys	rilevamento tellurico	
tellurium	tellurio	
temperature control	controllo della temperatura	
temperature dependence	dipendenza dalla temperatura	
temperature distribution	distribuzione della temperatura	
temperature effects	effetti della temperatura	
temperature gradients	gradiente di temperatura	
temperature logging	log termico	*
temperature measurement	misura della temperatura	

temperature monitoring	monitoraggio della temperatura	
temperature surveys	rilevamento della temperatura	
terrestrial heat flow	flusso termico terrestre	
terrestrial magnetism	magnetismo terrestre	
tertiary period	Terziario	
test facilities		
testing (laboratory)	test di laboratorio	*
thallium	tallio	
theoretical treatments		
thermal analysis	analisi termica	
thermal conduction	conduzione termica	
thermal conductivity	conduttività termica	
thermal degradation	degradazione termica	
thermal diffusion	diffusione termica	
thermal diffusivity	diffusività termica	
thermal effects	azione termica	*
thermal efficiency	efficienza termica	
thermal effluents	effluenti termici	
thermal equilibrium	equilibrio termico	
thermal expansion	espansione termica	
thermal expansivity	dilatazione termica	
thermal exploration methods	metodi termici (esplorazione)	
thermal gradients	gradienti termici	
thermal insulation	isolamento termico	
thermal logging		
thermal pollution	inquinamento termico	
thermal power plants	centrali termoelettriche	
thermal radiation	radiazione termica	*
thermal springs	sorgenti termali	
thermal waters	acque termali	
thermochemical processes	processi termochimici	
thermodynamic cycles	cicli termodinamici	
thermodynamic properties	proprietà termodinamiche	
thermodynamics	termodinamica	
thermometers	termometri	
thermometry	termometria	
thermostats	termostati	
thiols	tioli	
thorium	torio	
thrust faults	sovrascorrimento	*
time dependence	dipendenza dal tempo	
tin	stagno	
titanium	titanio	
topographic feature	elemento topografico	
topography	topografia	
topological mapping	mappatura topologica	
total flow system		
Towsend process		
toxicity	tossicità	
trace amounts	tracce	
trace elements	elementi in tracce	

trade	commercio	
transfer pipes	condotte	
transference number	numero di trasporto	
transition elements	elementi di transizione	
transition heat	calore di transizione	
transition temperature	temperatura di transizione	
transmissivity	trasmissività	*
transport	trasporto	
transport number	numero di trasporto	
transport properties		
transuranium elements	elementi transuranici	
triassic period	Triassico	
tridymite	tridimite	*
tritium	trizio	*
troposphere	troposfera	*
tuff	tufo	
tungsten	tungsteno	
turbine blades	pale di turbina	
turbines	turbine	
turbogenerators	turbogeneratori	
two-bulb factor		
two-bulb method		
U factor	fattore U (trasmittanza)	
unconfined aquifers	acquifero non confinato	
unconfined ground water	falda acquifera non confinata	
underground disposal	smaltimento nel sottosuolo	*
underground explosions	esplosioni sotterranee	
uptake		
uranium	uranio	*
uranium compounds	composti dell'uranio	
urban areas	aree urbane	*
urban populations	popolazione urbana	
uses		
vadose water	acqua vadosa	
Valle Caldera geothermal field		
vanadium	vanadio	*
vapor (saturated)	vapore (saturo)	
vapor condensers	condensatore di vapore	
vapor dominated hydrothermal systems	sistemi idrotermali a vapore dominante	
vapor generators	generatore di vapore	
vapor pressure	pressione di vapore	
vapor separators	separatori di vapore	
vapor solubility		
vaporization heat	calore di vaporizzazione	
vaporizing		
vapors	vapori	
variations	variazioni	
velocity of sound	velocità del suono	
viscosity	viscosità	
volatility	volatilità	
volcanic activity	attività vulcanica	

volcanic regions	regioni vulcaniche	
volcanic rocks	rocce vulcaniche	
volcanicity		
volcanism	vulcanismo	*
volcanoes	vulcani	*
volume	volume	*
vulcanism	vulcanismo	
Waiotapu geothermal field		
Wairakei geothermal field		
wairakite	wairakite	
warm springs	sorgenti calde	
washing	dilavamento	*
waste disposal	smaltimento dei rifiuti	
waste heat	calore di scarto	*
waste injection	iniezione dei rifiuti pompabili in pozzi	
waste management	gestione dei rifiuti	
waste processing	lavorazione dei rifiuti	
waste storage	deposito di rifiuti	
waste transportation	trasporto di rifiuti	
waste water	acqua di rifiuto	
wastes	rifiuti	
water	acqua	
water analysis	analisi dell'acqua	
water chemistry	chimica dell'acqua	
water jets		
water monitoring	monitoraggio dell'acqua	*
water pollution	inquinamento dell'acqua	
water pollution abatement	abbattimento dell'inquinamento idrico	
water pollution control	controllo dell'inquinamento dell'acqua	
water quality	qualità dell'acqua	
water requirements		
water reservoirs	riserve d'acqua	
water resources	risorse idriche	
water springs	sorgenti idriche	*
water table	superficie freatica	
water table aquifers	acquifero libero	
water treatments	trattamenti delle acque	
water vapor	vapore acqueo	
well casings	rivestimenti per pozzi	
well cementing	cementazione dei pozzi	
well characteristics	caratteristiche del pozzo	
well completion	completamento del pozzo	
well data	dati di pozzo	
well design	progettazione pozzi	
well drilling	perforazione pozzi	
well head pressure	pressione della testa di pozzo	
well head temperature	temperatura della testa di pozzo	
well heads	testa di pozzo	
well interference	interferenza tra pozzi	
well logging		
well plugging		

well pumps	pompe da pozzo	
well reaming		
well screens	filtri per pozzi	
well spacing	spaziatura dei pozzi	
well stimulation	stimolazione dei pozzi	
well temperature	temperatura del pozzo	
wells	pozzi	*
wet-steam systems		
wildcat wells	pozzi esplorativi	
working conditions	condizioni di lavoro	*
working fluids	fluidi di lavoro	
xenon	xeno	*
x-ray diffraction	diffrazione a raggi X	
x-ray fluorescence analysis	analisi di fluorescenza a raggi X	*
yield strength	soglia di deformazione	*
zeolites	zeoliti	*
zeta potential	potenziale zeta	
zinc	zinco	*
zinc inorganic compounds	composti inorganici dello zinco	
zinc sulfides	solfo di zinco	