

5° Workshop  
PROGETTO STRATEGICO  
*Clima Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno*  
Amalfi, 28-30 Aprile 1993

# ATTI

## I Tomo

*a cura di*

V. Piccione e C. Antonelli

V. COTECCHIA, G. D'ECCELESIS, F. FIORILLO, M. POLEMIO  
L. TULIPANO

APPLICAZIONI DI TECNICHE DI TELERILEVAMENTO CON SISTEMA  
TERMOVISIVO ALL'INFRAROSSO PER L'INDIVIDUAZIONE DI  
EFFLUSSI COSTIERI E DI AREE DI DRENAGGIO DI CORPI FRANOSI

*Editor* A. GUERRINI

COLLANA DEL PROGETTO STRATEGICO  
"CLIMA AMBIENTE E TERRITORIO NEL MEZZOGIORNO"  
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

## Applicazioni di tecniche di telerilevamento con sistema termovisivo all'infrarosso per l'individuazione di efflussi costieri e di aree di drenaggio di corpi franosi

V. COTECCHIA, G. D'ECCLESII\*, F. FIORILLO, M. POLEMIO, L. TULIPANO\*\*

CNR CERIST, Bari;

\* Geologo, Potenza;

\*\* Dip. Idraulica Trasporti e strade, Università Roma "La Sapienza"

5° Workshop  
Progetto Strategico  
Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno  
Amalfi, 28-30 Aprile 1993

### Riassunto

Sono presentate alcune prospezioni mediante rilievi a distanza con scanner operante nel campo dell'infrarosso termico (8 - 12  $\mu\text{m}$ ). Queste applicazioni evidenziano una grande potenzialità circa l'acquisizione di tali dati in settori vari della Geologia Applicata. Le immagini che si ottengono sono in stretta connessione con la temperatura superficiale dei corpi investigati (termografie); l'interpretazione quindi è funzione del significato che si può attribuire alla distribuzione della temperatura sulla superficie dei corpi. Il sistema infatti evidenzia, sotto forma di toni di grigio o di falsi colori, l'energia termica irradiata e, in minor misura, riflessa dai corpi ripresi. Le applicazioni, tutte effettuate da rilievi a terra, riguardano la individuazione di sorgenti sottomarine, campo di tradizionale applicazione da piattaforme aereo-transportate, e la osservazione di un versante in frana.

*Parole chiave:* Telerilevamento, Frane, Acque sotterranee.

### Abstract

The use of camera operating in the 8-12  $\mu\text{m}$  range of electromagnetic wave spectrum, prove to be satisfactory in various sectors of the engineering geology. The results of some surveyings carried out by means of fixed stations on the land have been presented. The interpretation of the thermography which have been obtained is related to the meaning which is likely to be ascribed to the temperature distribution on the surface of the investigated bodies. In fact, the system shows in the form of shades of gray or of false colour the thermal energy radiated and reflected by the observed bodies. Starting from the most traditional applications concerning the census of submarine springs, but still prerogative of the most sophisticated systems based on the use of airborne multi-spectral scanners, the easiest thermovision

system, which is also likely to be used on platforms installed on small aircraft, may stretch the applications range of remote sensing techniques to various field of the engineering geology. Besides the low cost and readiness of the survey, the thermovision system, used from fixed stations, allows to obtain images in the scale of the desired detail. Examples which have been presented refer to the location of submarine springs flowing along a part of the coast near Polignano (Bari, Apulia region) and near Maratea (Potenza, Basilicata Region), the observation of a landslide near Brindisi di Montagna (Potenza, Basilicata region). In the discussion of data resulting from thermographies taken on the above said objectives one can even realize factors which may negatively affect the image interpretation such as, for instance, the disturbance caused by vegetation to the temperature distribution on the land surface.

*Key words:* Remote sensing, Landslide, Groundwater.

## **Premessa**

I sistemi passivi di telerilevamento, basati sulla rivelazione dell'energia emessa dai corpi naturali nel dominio dell'infrarosso termico, offrono grandi potenzialità di applicazione nei campi della Geologia Applicata. Sino a un decennio addietro tali rilievi erano possibili utilizzando scanner multispettrali aerotrasportati. Oggi sono disponibili apparecchiature leggere e di relativa economicità che, seppure con certe limitazioni di impiego rispetto agli scanner multispettrali, consentono di ottenere utili informazioni quando la differenziazione termica individuabile sulla superficie degli obiettivi esplorati può essere messa in relazione a fenomeni naturali o a determinate caratteristiche di interesse. Per tale motivo l'infrarosso termico può trovare applicazioni in vari settori delle Scienze della Terra. In vulcanologia ad esempio rilievi aerei e/o da terra possono essere di aiuto nel controllo dello stato di attività dei vulcani stessi, mentre in geologia strutturale, lineamenti particolari quali linee di faglia o contatti tra formazioni diverse possono essere messi in risalto effettuando opportune elaborazioni sui dati termici di base. Altre applicazioni, inoltre, rientrano tra gli studi a carattere ambientale come quelli sui corpi idrici superficiali, dove la temperatura dell'acqua controlla gli equilibri degli ecosistemi. Purtroppo i sempre più numerosi casi di inquinamento dei corpi idrici hanno dimostrato

l'efficacia di questi metodi per l'individuazione delle fonti dell'inquinamento stesso. In campo idraulico-ambientale i rilievi all'infrarosso termico hanno fornito preziose indicazioni per l'individuazione delle aree di esondazione, interessate dalle piene.

Gli esempi di applicazione di rilievi all'infrarosso termico qui presentati mostrano la grande potenzialità delle tecniche di telerilevamento, anche operando da postazioni fisse al suolo.

Tra i principali vantaggi di tali applicazioni si consideri sia l'utilità di effettuare con semplicità cicliche osservazioni del soggetto di interesse che il vantaggio di raggiungere un'elevata definizione nell'immagine del soggetto, data la possibilità di operare a modeste distanze.

### **Principali caratteristiche tecniche della strumentazione e dati acquisibili**

La strumentazione utilizzata è composta dai sottoelencati componenti:

- telecamera a scansione operante nel campo  $8\div 12 \mu\text{m}$  dello spettro delle onde elettromagnetiche, con sensore raffreddato ad azoto liquido e sensibilità alla temperatura dei corpi ripresi tra  $-20$  e  $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- monitor per la visualizzazione immediata delle immagini telerilevate a colori o in bianco e nero;
- unità di controllo per la regolazione delle termografie;
- minicomputer per l'esecuzione rapida di alcune operazioni e per la gestione dei dati termici acquisiti;
- videoregistratore per la registrazione su banda magnetica delle riprese.

La telecamera opera con una scansione che avviene attraverso quattro diversi campi, ognuno costituito da 100 linee orizzontali e con velocità tale da produrre 25 campi completi al secondo.

La risoluzione dello scanner è di 175 punti per linea che, per il gruppo ottico utilizzato, permette di ottenere un angolo minimo risolto di  $1,2 \cdot 10^{-3}$  radianti. Pertanto, ad esempio, per un oggetto con superficie piana perpendicolare alla direzione di ripresa ed alla distanza di 100 m, la più piccola area discriminata è di  $0,108 \times 0,190$  m.

Il sistema televisivo all'infrarosso termico permette di ottenere la visualizzazione diretta delle termografie dei corpi ripresi attraverso una scala di toni di grigio o falsi colori corrispondenti all'energia irradiata dai corpi.

Le immagini rilevate con la strumentazione sono rappresentative della radianza emessa dai corpi nel campo dell'infrarosso termico, ossia tra le lunghezze d'onda 8 e 12  $\mu\text{m}$ ; in tale intervallo i corpi in equilibrio con la usuale temperatura atmosferica, compresa tra 5 e 30 °C, irradiano, secondo la legge di Plank, una grossa aliquota dell'energia totale emessa.

Oltre che dalla temperatura, l'emissività dei terreni dipende anche dalla natura litologica; si consideri tuttavia che i terreni anidri ed i terreni saturi di acqua sono mediamente caratterizzati da un'emissività rispettivamente di 0,92 e 0,95 a 20 °C (LILLESAND & KIEFER, 1979).

Per questo motivo nella maggior parte dei casi trattati, i terreni ripresi hanno un comportamento assai prossimo a quello dei rispettivi blackbody. Quindi le termografie che si possono ottenere da tali riprese sono direttamente connesse con la distribuzione della temperatura alla superficie degli stessi (TONELLI, 1983).

La temperatura  $T$  dei corpi ripresi è legata ad una variabile strumentale  $I$  (valore termico) attraverso la relazione (AGEMA INFRARED SYSTEM, 1987):

$$I = R/(e^{(B/T)} - F) \quad (1)$$

dove  $R$ ,  $F$  e  $B$  sono costanti strumentali. Il valore  $I$  deve però essere depurato da alcuni disturbi, causati dall'interferenza tra i

corpi limitrofi e dall'aria interposta. Vale quindi la seguente relazione:

$$I' = t e I + t (1-e) I_a + (1-t) I_{atm} \quad (2)$$

essendo  $I'$  il valore termico del soggetto inquadrato,  $t$  il fattore di correzione atmosferica,  $e$  l'emissività,  $I_a$  il valore termico legato alla temperatura dei corpi limitrofi,  $I_{atm}$  il valore termico legato alla temperatura dell'atmosfera interposta.

Il primo termine dell'equazione (2) rappresenta l'energia che il corpo in esame emette per effetto della propria temperatura ed emissività, depurato dalle influenze dei gas atmosferici attraverso il fattore  $t$ . Il secondo termine rappresenta l'energia riflessa dal corpo in esame e dipende quindi dalla temperatura dei corpi limitrofi e dalla propria riflettività ( $r = 1-e$ ). Il terzo termine rappresenta l'energia emessa dai gas che compongono l'atmosfera e dipenda dalla temperatura della stessa.

Di tutti i parametri necessari solo la emissività non è nota e pertanto la temperatura può essere calcolata solo approssimativamente. Con maggior affidabilità è però possibile valutare le differenze di temperatura tra punti diversi delle superfici esplorate, assegnando un valore "probabile" alla emissività dei corpi ripresi. Quest'ultima procedura consente quindi di evidenziare, sia pur in termini relativi, la presenza e la distribuzione di "anomalie termiche" sulla superficie degli obiettivi esplorati, operazione di grande utilità per le applicazioni pratiche.

## Casi di studio

Vengono illustrate alcune applicazioni delle tecniche di telerilevamento svolte con l'apparecchiatura descritta nell'ambito di multimetodologiche ricerche svolte dagli autori nello studio degli acquiferi costieri e dei corpi franosi, pur se questa metodologia è in grado di fornire utili informazioni in tutti quei casi in cui la distribuzione della temperatura al suolo o alla superficie di specchi liquidi è relazionabile a fenomenologie in atto (LECHI, 1976).

*Individuazione e caratterizzazione degli efflussi costieri*

Le prime applicazioni dell'infrarosso termico nel campo della Idrogeologia hanno riguardato il censimento delle manifestazioni sorgentizie in mare alimentate da acquiferi costieri. Nel caso di acquiferi permeabili per fessurazione e per carsismo queste tecniche risultano indispensabili per individuare anche i fronti sorgentizi sia di tipo diffuso che di tipo concentrato, sgorganti a mare, in prossimità della linea di costa (COTECCHIA e TULIPANO, 1989).

La Puglia è stato uno dei primi importanti teatri operativi di questa metodologia, che rese possibile un censimento, su circa la metà dello sviluppo costiero della regione, delle manifestazioni sorgentizie (GUGLIELMINETTI *et al.*, 1975). Questa operazione fu condotta con l'intento di acquisire il termine del bilancio idrologico riguardante il deflusso degli acquiferi carsici pugliesi e fu possibile solo perché il grosso impegno finanziario venne assicurato dall'ex Cassa per il Mezzogiorno, nell'ambito di un progetto di grandissimo respiro riguardante, tra l'altro, il reperimento di nuove risorse idriche da destinare all'agricoltura (P.S. 14).

Con l'acquisizione del sistema televisivo all'infrarosso termico sarà ora possibile completare il predetto censimento e proseguire negli studi già intrapresi riguardanti lo stato di inquinamento delle predette manifestazioni sorgentizie. In particolare, si prevede di effettuare una dettagliata individuazione e caratterizzazione delle sorgenti sottomarine poste al largo della costa adriatica tra Molfetta e Trani.

La individuazione di sorgenti costiere o sottomarine è resa possibile dalla differenza termica che normalmente esiste tra acque di falda fluenti a mare e le acque di mare stesse. Per gli acquiferi costieri dell'Italia meridionale, le acque sotterranee hanno, al momento del loro deflusso a mare, temperature non superiori a 17-18 °C (COTECCHIA *et al.*, 1978; TULIPANO, 1988), mentre le acque di mare hanno una temperatura variabile a seconda delle stagioni: riprese quindi effettuate nella stagione estiva (temperatura del mare attorno a 25 °C) riveleranno i deflussi a mare

con le massime anomalie termiche negative, pari a circa 7°C (TULIPANO, 1976).

*Gli efflussi dall'unità idrogeologica murgiana lungo la costa adriatica*

L'esempio presentato in fig. 1 si riferisce ad una manifestazione sorgentizia rilevata da postazione a terra in un tratto di costa poco a nord di Polignano (BA); la distanza di ripresa è dell'ordine dei 50 metri. La manifestazione sorgentizia si compone di una serie di polle che, invisibili ad occhio nudo, sono perfettamente individuate dalla differenziazione cromatica della termografia: la variazione di temperatura per ogni intervallo omogeneo della scala cromatica risulta essere di circa 0,4°C.

*Gli efflussi dall'unità idrogeologica M. Rotonda-Serra di Castrocuoco lungo la costa tirrenica*

Nel caso dello studio degli acquiferi circostanti Maratea (PZ) la grande complessità delle vicende tettoniche che hanno afflitto le locali formazioni carbonatiche rendeva estremamente incerta la determinazione delle modalità di circolazione idrica sotterranea (Fig. 2).

Il territorio è risultato caratterizzato dalla lineazione Maratea-Brefaro-Piano dei Peri, che lo suddivide in due unità idrogeologiche le cui condizioni al contorno sono risultate, anche grazie all'applicazione del telerilevamento all'infrarosso, distinte.

L'unità idrogeologica del M. Crivo (COTECCHIA *et al.*, 1990; D'ECCLESIIIS e POLEMIO, 1993), costituita da successioni carbonatiche di piattaforma afferenti all'Unità Bulgheria-Verbicaro, è caratterizzata da un ben definito limite di permeabilità inferiore, dovuto alla sovrapposizione tettonica dell'unità acquifera impermeabile, costituito da litotipi argillosi.

L'unità idrogeologica del M. Rotonda-Serra di Castrocuoco, costituita da rocce carbonatiche afferenti all'Unità Bulgheria-Verbicaro ma che poggiano direttamente su litotipi carbonatici dell'Unità Alburno-Cervati, presenta limiti di permeabilità che

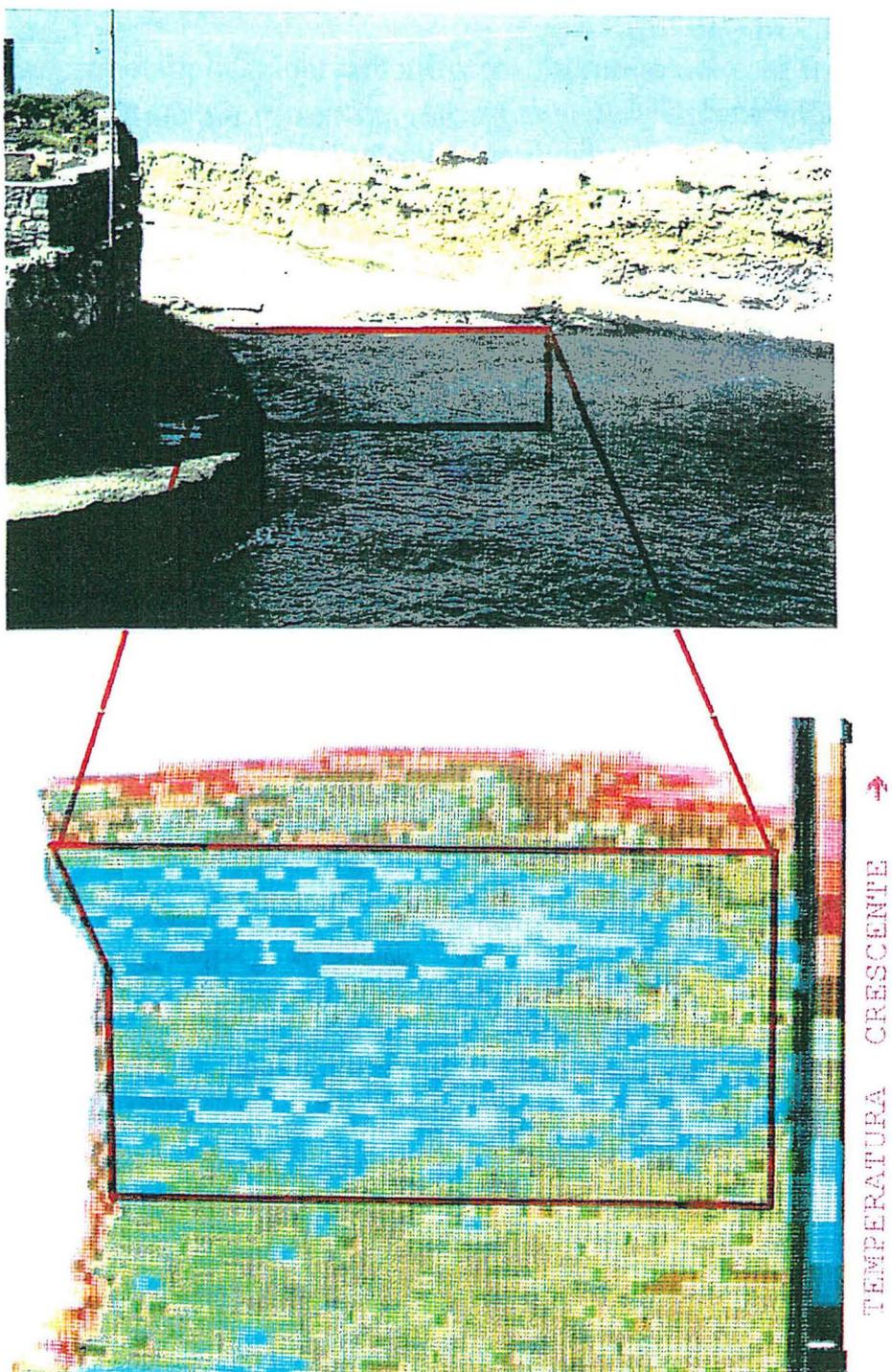


Fig. 1 - Immagine all'infrarosso e visibile di una sorgente individuata in un tratto di costa di Polignano nel luglio 1990.

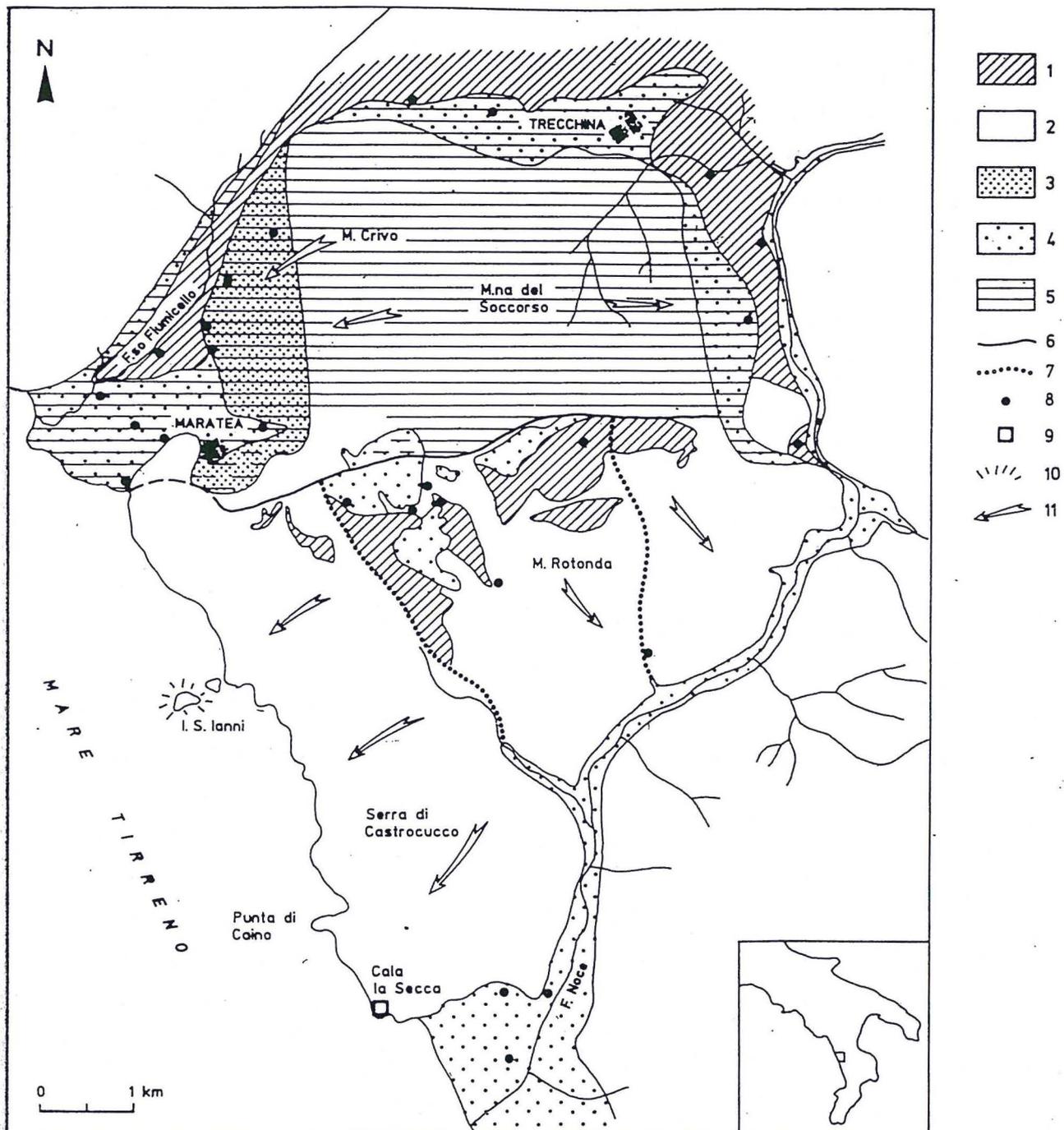


Fig. 2 - Carta idrogeologica dei monti di Maratea (da COTECCHIA *et al.*, 1990). 1) Successioni flysciodi a carattere argilloso, permeabilità da bassa a nulla; 2) Successioni carbonatiche di piattaforma, permeabilità da media ad alta per fessurazione e carsismo; 3) calcari afferenti alla successione Del M. Bulgheria-Verbicaro, permeabilità alta per fessurazione e carsismo; 4) detriti di falda e alluvioni, permeabilità alta per porosità; 5) corpi acquiferi limitati inferiormente da livelli impermeabili, incerto dove tratteggiato; 6) limitie di unità idrogeologica; 7) spartiacque sottterraneo aperto; 8) sorgente; 9) sorgente costiera; 10) probabile sorgente sottomarina; 11) linea principale di flusso sottterraneo.

permettono travasi sia verso le alluvioni del F. Noce-Castrocucco che verso il mare Tirreno.

Tale ultima circostanza è stata confermata mediante il telerilevamento da postazione fissa lungo tutta la costa tra la foce del F. Noce-Castrocucco e il porto di Maratea, favorito dalla rilevante quota dei punti di osservazioni disponibili (100-640 m s.l.m.) in virtù della forte pendenza del terreno in direzione trasversale alla costa. La fig. 3 mostra l'immagine rilevata di un efflusso costiero censito in località Cala la Secca mentre la fig. 4 mostra un'immagine che permette di ipotizzare la presenza di modesti e diffusi efflussi subacquei in prossimità dell'isola di S. Ianni.

### **Studio di versanti instabili**

Una possibile applicazione del sistema di acquisizione immagini all'infrarosso termico nel campo dello studio di versanti instabili è quella riguardante il ruolo esercitato dalle acque di drenaggio e di infiltrazione, specie nel caso di movimenti superficiali.

In dipendenza della sua origine, del suo percorso e dei tempi di residenza nel terreno, l'acqua presente nei corpi in frana può dare luogo a differenziazioni termiche alla superficie osservata. Nella pratica esistono però numerose difficoltà nella interpretazione delle termografie dovute principalmente alla eterogeneità dei materiali in frana con caratteri di emissività diversi tra loro che determinano una diversa distribuzione del valore della radianza che non è più funzione della sola temperatura.

Un ulteriore fattore di disturbo è dato dalla irregolare ed eterogenea presenza di vegetazione lungo i pendii. Operando su frane interessanti terreni a sequenze pelitiche e con scarsa presenza di vegetazione, tali fattori, che possono condurre a errate interpretazioni, assumono un ruolo meno importante.

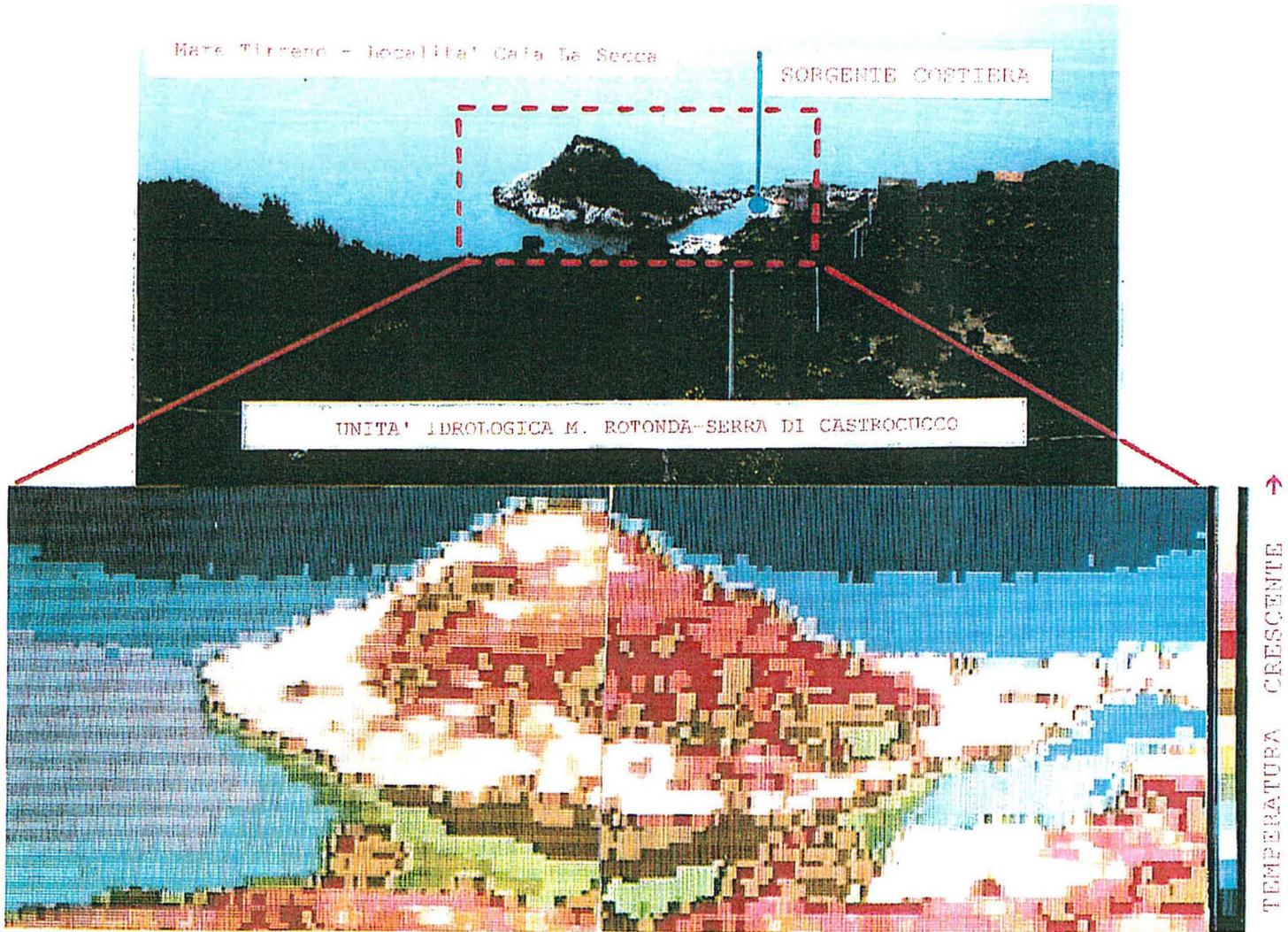


Fig. 3 - Immagine all'infrarosso e visibile di una sorgente costiera il località Cala la Secca.

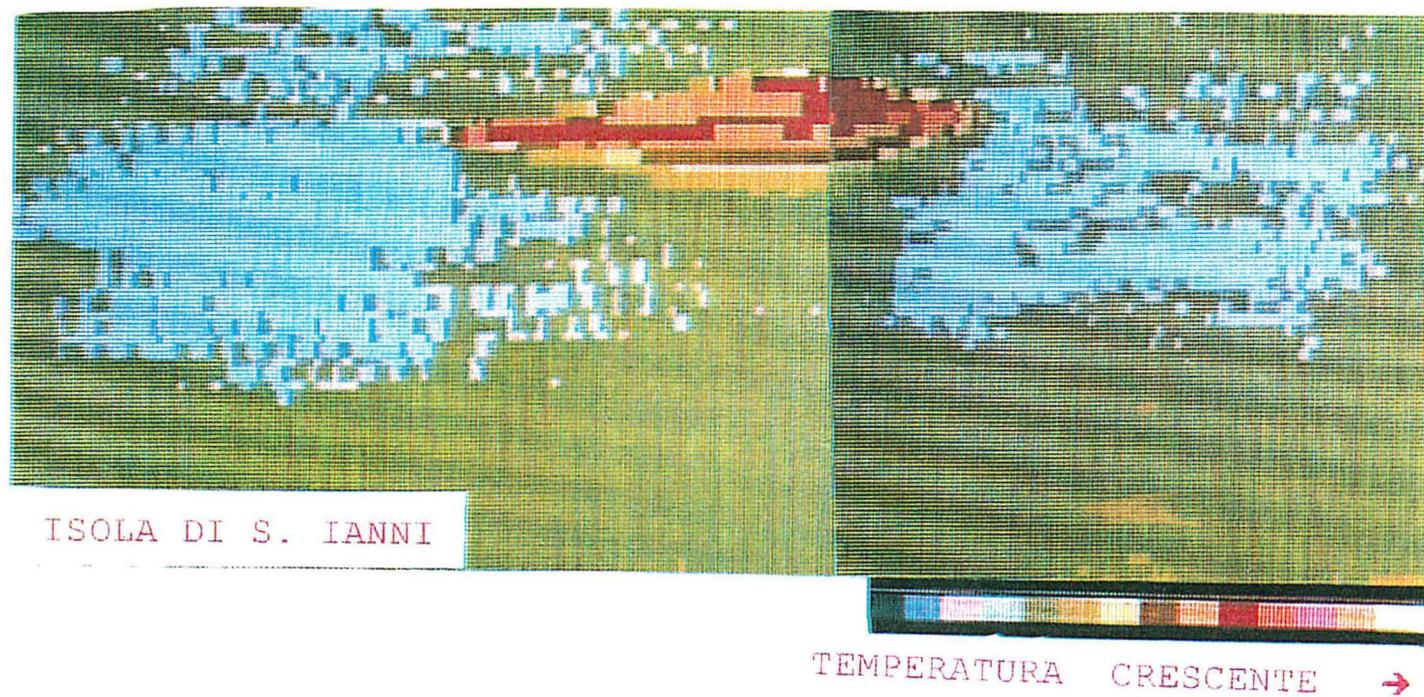


Fig. 4 - Immagine all'infrarosso e visibile di un probabile efflusso subacqueo attorno all'isola di S.Ianni.

Nella fig. 5 sono riportate le immagini telerilevate su una frana di tipo colata interessante litotipi pelitici nei pressi di Brindisi di Montagna (PZ), i cui caratteri geomorfologici e geotecnici sono stati analizzati in un precedente studio (COTECCHIA *et al.*, 1986).

Le immagini sono state ottenute da una distanza di circa m 300; la prima si riferisce a un momento seguente un breve periodo non piovoso (maggio '91), mentre la seconda è stata ripresa dopo un breve periodo piovoso (dicembre '90). Il confronto tra le due termografie mette in risalto il forte cambiamento nella distribuzione della radianza della superficie osservata, soprattutto conseguente alle diverse condizioni dei valori e della distribuzione dell'umidità superficiale dei terreni. In particolare, l'immagine relativa al periodo più umido consente di evidenziare alcune zone, con fasce più "fredde", non più rilevate nella termografia successiva relativa al periodo meno umido (zone comprese tra i punti di riferimento segnati sulle immagini). In questo caso la distribuzione dei valori della radianza appare controllata dalla presenza dei fossi esistenti lungo il corpo in frana, che fungono da aree di drenaggio.

In applicazioni di questo tipo appare evidente che utili informazioni sul ruolo esercitato dall'acqua sui fenomeni di instabilità possono ottenersi solo con riprese effettuate periodicamente in diverse condizioni stagionali.

## Conclusioni

Gli esempi sopra riportati permettono di evidenziare il grande vantaggio di poter osservare, con sguardo d'insieme, la distribuzione di un parametro così importante, quale la temperatura, anche su vaste superfici; con l'ausilio delle termografie si è in grado di interpretare l'andamento delle fenomenologie più profonde interferenti con la distribuzione della temperatura alla superficie dei corpi ripresi. Ricordando che l'impiego della descritta strumentazione, di costo sufficientemente contenuto, di agevole utilizzazione e di immediata restituzione delle immagini, è possibile

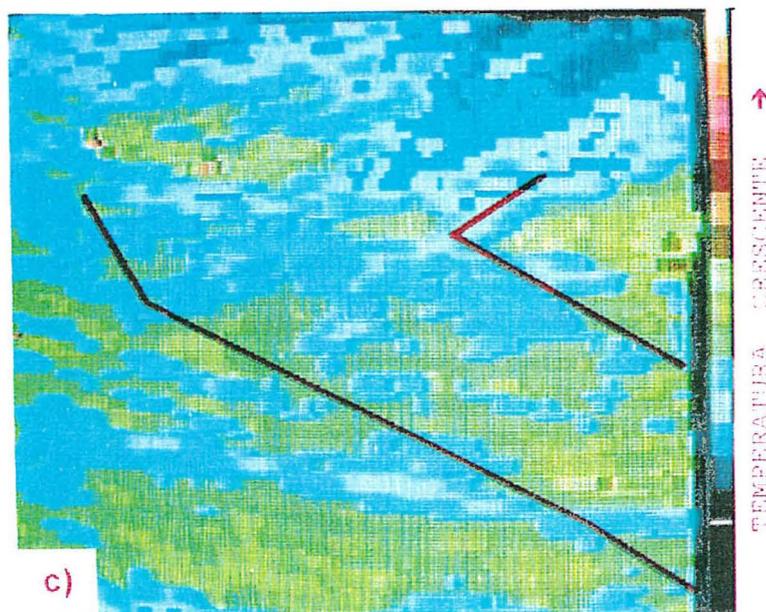
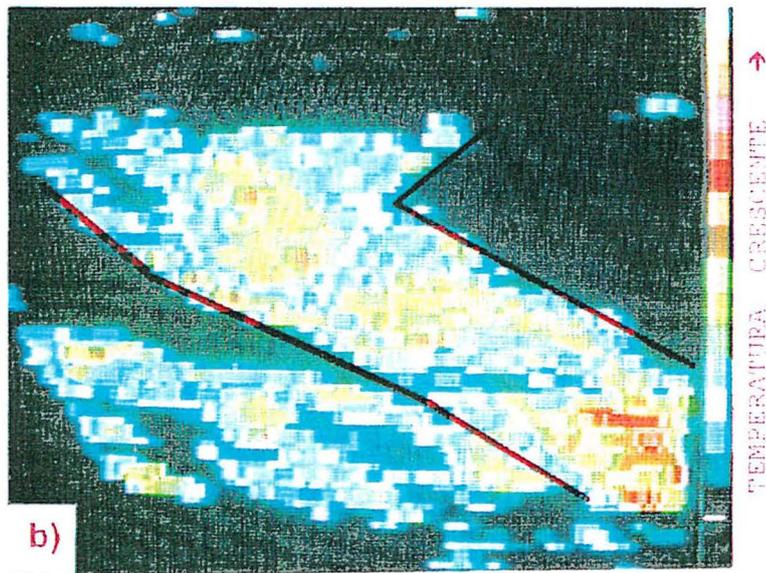


Fig. 5 - Immagine all'infrarosso e visibile (a) della frana in materiali pelitici nei pressi di Brindisi di Montagna (PZ). (b) Termografia ripresa nel maggio '90, dopo un periodo di siccità. (c) Termografia ripresa nel dicembre '90, dopo un periodo piovoso.

anche da bordo di piccoli velivoli (AGA Infrared System AB, 1978), si sottolinea la sua potenzialità quale mezzo di monitoraggio da postazioni fisse al suolo (TONELLI, 1972; FIORILLO e TULIPANO, 1992), potendosi in questo caso ottenere immagini in scala congrua al dettaglio desiderato. Le riprese da terra offrono altresì il grande vantaggio della rapidità ed economicità rispetto alle riprese aeree, sempre condizionate dai fattori meteorologici oltre che burocratici.

## Bibliografia

- AGA INFRARED SYSTEM AB, 1978 - *Experience with hybrid infrared-visible viewing from low flying aircraft. ISP-UFRO Symposium on Remote Sensing for Observation and Inventory of Earth Resources and the Endangered En.* Freiburg (Germany).
- AGEMA INFRARED SYSTEM, 1987 - *Thermovision 880 LW Operating Manual.* Milano.
- COTECCHIA V., D'ECCLESIIIS G., POLEMIO M., 1990 - *Studio geologico e idrogeologico dei monti di Maratea.* Geologia Applicata e Idrogeologia, XXV, Bari.
- COTECCHIA V., DEL PRETE M., FEDERICO A., FENELLI G.B., PELLEGRINO A., PICARELLI L., 1986 - *Studio di una colata attiva in formazioni strutturalmente complesse presso Brindisi di Montagna Scalo (PZ).* Atti del XVI Convegno Nazionale di Geotecnica. Bologna.
- COTECCHIA V., TADOLINI T., TULIPANO L., 1978 - *Ground water temperature in the Murgia karst aquifer (Puglia - Southern Italy).* International Symposium on Karst Hydrology. Budapest.
- COTECCHIA V., TULIPANO L., 1989 - *Le emergenze a mare, individuate anche con tecniche di telerilevamento, come vettori di carichi inquinanti degli acquiferi carbonatici e carsici pugliesi all'ambiente costiero.* 1° Workshop del Progetto Strategico "Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno" del C.N.R. Taormina.
- D'ECCLESIIIS G., POLEMIO M., 1993 - *Studio idrogeologico della sorgente Parrutta in agro di Trecchina (PZ).* Atti del III Conv. Naz. dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata. Potenza. In corso di stampa.
- FIORILLO F., TULIPANO L., 1992 - *Alcune applicazioni dell'infrarosso termico e tematiche geoapplicative.* Atti del II Conv. Naz. dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata. Viterbo. In corso di stampa.
- GUGLIELMINETTI M., BOLTRI R., MARINO C.M., 1975 - *Remote sensing techniques applied to the study of fresh water springs in coastal areas of Southern Italy.* Atti del 10th International Symposium on Remote Sensing. Ann Harbour (Michigan).
- LECHI G.M., 1976 - *The role of thermal infrared in the framework of remote sensing techniques applied to the environment quality control.* Acta Termografica n. 4.
- LILLESAND F., KIEFER R., 1979 - *Remote sensing and image interpretation.* Wiley and Sons ed.. New York.
- TONELLI A., 1972 - *Termografie all'I.R. da stazioni a terra e dall'aereo.* La ricerca Scientifica n. 83.
- TONELLI A., 1983 - *Misurare l'ambiente: introduzione al telerilevamento.* Zanichelli ed.. Bologna.
- TULIPANO L., 1976 - *Cenni su alcune tecniche del Remote Sensing ed applicazioni in idrogeologia.* Seminario su "Falde Acquifere e Trattamento

delle Acque". Istituto di Geologia Applicata e Geotecnica dell'Università di Bari - Istituto di Ricerca Sulle Acque del C.N.R. di Bari. Bari.

TULIPANO L., 1988 - *Temperature logs interpretation for identification of preferential flow pathways in the coastal carbonatic and karstic aquifer of the Salento Peninsula (Southern Italy)*. 21th Congress I.A.H. "Karst Hydrogeology and Karst Environment Protection". Guilin (China).