

Utilizzo d'immagini all'infrarosso termico per l'individuazione di sorgenti minerali nella Finestra Tettonica di Gova

Francesco Ronchetti¹, Federico Cervi², Alessandro Corsini¹, Paolo Mora³, Giuseppe Maragò⁴, Stefano Taddia⁵

¹ Geologo, Ricercatore presso Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche. Università degli Studi di Modena e Reggio E.

² Geologo, Assegnista di ricerca presso Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali. Università degli Studi di Bologna

³ Geologo, Tecnico presso Dipartimento di Scienze Biomediche e Neuromotorie. Università degli Studi di Bologna

⁴ Geometra, libero professionista

⁵ Perito tecnico, libero professionista

1. INTRODUZIONE

L'utilizzo di immagini all'infrarosso termico da piattaforma satellitare, aerea e terrestre è oramai consolidato in diverse discipline tra le quali l'ingegneria civile, l'architettura, l'idrologia, l'idrogeologia, l'agronomia e la climatologia.

A partire dagli ultimi anni, le termocamere forniscono preziose informazioni per la valutazione della dispersione di energia termica dagli edifici mentre in campo ambientale, vengono impiegate per monitorare vulcani, prevenire e controllare incendi, controllare discariche, rilevare fughe di gas, valutare l'umidità del suolo, monitorare/caratterizzare frane e pareti rocciose, classificare l'uso del suolo, controllare la dispersione di inquinanti in fiumi, individuare sorgenti in alveo e stimare la loro portata, indagare la presenza di sorgenti sottomarine lungo le coste (Danielescu et al. 2009). Una trattazione esaustiva delle possibili applicazioni di questa tecnica in campo idrogeologico ed ambientale si trova in Brunner et al. (2007).

Nella presente nota viene riportato l'utilizzo dell'infrarosso termico mediante termocamera da piattaforma terrestre per la localizzazione di alcune sorgenti minerali che vengono a giorno in modo diffuso nell'alveo del Torrente Dolo (Comune di Toano, Provincia di Reggio Emilia). Si tratta delle sorgenti fredde e minerali di Quara, già sfruttate fin da epoca romana, ad oggi in larga parte scomparse e sepolte da alluvioni recenti. Il sito di studio è inoltre inserito tra le aree di particolare interesse nell'analisi preliminare per la valutazione del potenziale geotermico in Regione Emilia-Romagna.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di studio si trova al limite settentrionale della finestra tettonica di Gova, nel medio Appennino emiliano (quote comprese tra 700 e 1000 m s.l.m.) e ricade all'interno del bacino idrografico del Torrente Dolo che, con il suo corso, segna il confine tra le Province di Reggio Emilia e Modena. La struttura tettonica permette l'affioramento dell'Unità Toscana, qui rappresentata dalle Arenarie di Gova, ovvero torbiditi quarzoso-feldspatiche a grana grossolana, con strati da spessi a molto spessi, appartenenti ad una avanfossa intermedia tra il Cervarola e la Marnoso-Arenacea (Fig. 1, Unità 1; Plesi et al. 2002). L'Unità Ligure affiorante a nord della finestra tettonica (unità 11 in Fig. 1) è costituita dal flysch della formazione di Monte Venere e dalle Argille a Palombini. Interposta tra le due Unità, affiora il mélange tettonico della sotto-unità Sestola-Vidiciatico (unità 6 in Fig. 1), che si ritrova anche a sud sotto forma di sovrascorrimiento a basso angolo sulle Arenarie di Gova (Fig. 2).

Il contatto tra le diverse unità è complicato dalla presenza, al limite settentrionale, di una importante faglia chilometrica subverticale, a movimento trascorrente (Carta geologica d'Italia - Foglio 235 Pievepelago; Plesi et al., 2002). Recentemente, in seguito a studi meso-strutturali, la struttura è stata re-interpretata come una faglia a prevalente rigetto verticale (Remitti et al. 2012), in accordo ai dati di un pozzo per idrocarburi spinto sino a 3300 metri di profondità e posto poche centinaia di metri a nord del contatto (Anelli, 1994).

Proprio nei pressi della faglia, al contatto tra Arenarie di Gova e le argilliti del Mélange tettonico nell'alveo del



Figura 1 – Inquadramento strutturale della Finestra tettonica di Gova (modificato da: Foglio Geologico 235; Plesi et al., 2002). 1) Arenarie di Gova; 2) Falda Toscana; 3) Unità Modino (Sotto Unità Modino Pievepelago); 4) Successione del Monte Cervarola e Scaglie del F. dei Bibbi; 5) Scaglie del Secchia; 6) Unità Modino (Sotto Unità Sestola Vidiciatico); 7) Unità Canetolo; 8) Unità Caio; 9) Unità ofiolitica della Val Baganza; 10) Unità Venano; 11) Unità Monghidoro; 12) Successione Epiligure. Il riquadro con la linea rossa continua indica l'area di indagine; la linea a tratteggio nero indica la traccia della sezione geologica A-A' (Figura 2)

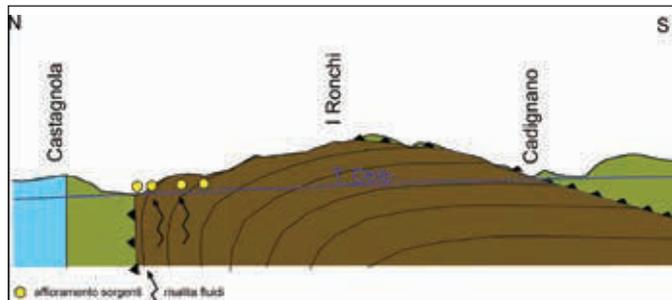


Figura 2 – Sezione geologica schematica (A-A', rispettivamente S-N) della finestra tettonica di Gova con il tracciato del torrente Dolo e localizzazione di alcune delle sorgenti minerali fredde censite

Torrente Dolo, Colombetti & Nicolodi (2005) riportano la presenza di più venute di acque “termali”, con portate complessive di pochi litri al minuto, prevalentemente localizzate nel materasso alluvionale del corso d’acqua, qui potente alcuni metri. Altri Autori (Scicli, 1972) evidenziano



A



B



C

Figura 3 - A) B) Immagini relative al T. Dolo nel tratto centrale della Finestra Tettonica di Gova; da notare la giacitura sub-orizzontale delle Arenarie di Gova con potenza metrica dei singoli strati e il canyon che borda il corso d’acqua. In C), edificio settecentesco (tempietto celebrativo) al limite settentrionale della finestra tettonica con vasca per la raccolta delle acque termali

come la presenza di queste acque estremamente mineralizzate (spesso associate ad idrocarburi e metano) non sia esclusiva della zona di faglia, ma come tale anomalia sia riscontrabile lungo tutto il tratto di alveo impostato nella finestra tettonica, che qui scorre incassato nelle potenti bancate arenacee del Flysch di Gova (Fig. 3).

3. CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE

A differenza delle normali acque di sorgente che vengono a giorno dai complessi idrogeologici dell'Appennino settentrionale, le Sorgenti di Quara, sono estremamente mineralizzate (Conducibilità Elettrica > 10000 $\mu\text{S/cm}$, Salinità > 7 g/l) a Na^+ (circa 2600 mg/l) e Cl^- (circa 3800 mg/l) (Boschetti et al. 2011). Con una temperatura costante durante l'anno e prossima a 20 °C, le acque possono essere definite secondo la classificazione combinata di Marotta e Sica (1933) e Schoeller (1962) come minerali fredde.

Oltre all'edificio settecentesco (tempietto celebrativo, Fig. 3), Colombetti e Nicolodi (2005) riportano la presenza di cinque sorgenti al limite settentrionale della finestra tettonica. Esse emergevano dalle alluvioni terrazzate, per un tratto di circa 300 metri, ma ad oggi, a causa delle modifiche dell'alveo in seguito a fenomeni di sovralluvionamento, risultano scomparse. Recenti misurazioni dirette in alveo della conducibilità elettrica, condotte con multimetro CRISON MM40+ durante l'estate 2010, han-

no evidenziato, per questo tratto di torrente, un continuo incremento della conducibilità da circa 500 a 675 $\mu\text{S/cm}$, dovuto al contributo di acque mineralizzate le cui emergenze non sono direttamente visibili in superficie (Fig. 4).

4. RILIEVI ALL'INFRAROSSO TERMICO

4.1 Metodo di indagine

La termocamera utilizzata è il modello SC620 24° della FLIR e le cui specifiche sono riportate in Tabella 1.

Immagine e dettagli ottici	
Campo di vista	24°x18°
Lunghezza focale	38 mm
Risoluzione spaziale	0,65 mrad
Distanza minima a fuoco	0,3 m
Sensibilità termica	<40 mK a +30°C
Frequenza immagini	30 Hz
Caratteristiche sensore	
Range spettrale	7.5-13 μm
Risoluzione immagine	640x480 pixels
Caratteristiche misura	
Range temperatura rilevabile	- 40°C ÷ 120°C o 0°C ÷ 500°C
Precisione	± 2% della misura

Tabella 1 - Caratteristiche della termo-camera impiegata nella ricerca

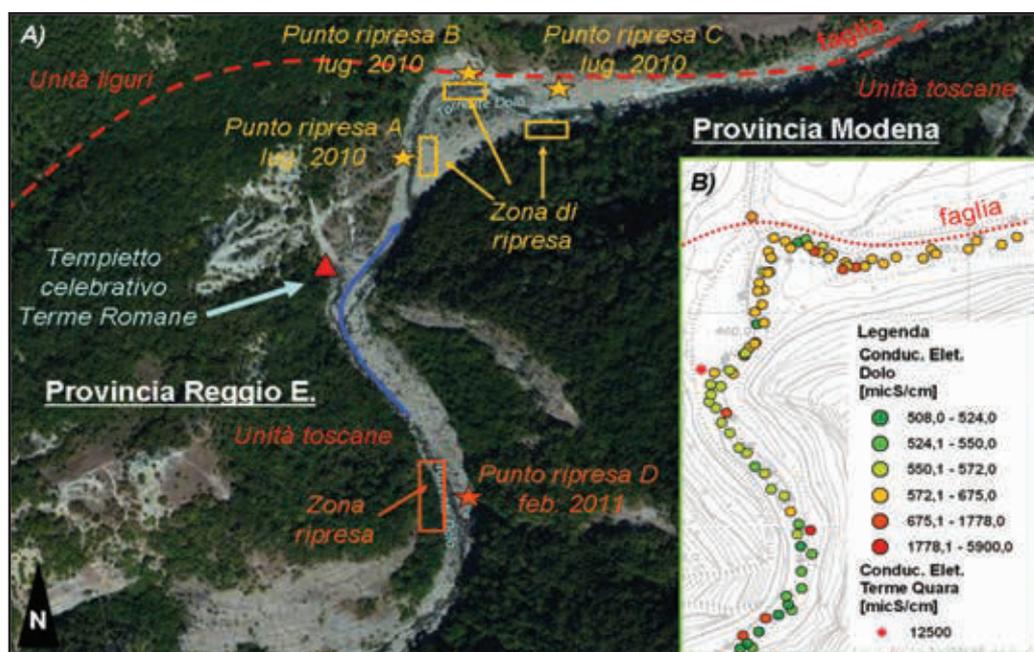


Figura 4 - A) Dettagli delle campagne all'infrarosso termico condotte con termocamera FLIR-SC620 24°; B) Risultati della misura della conducibilità elettrica in alveo (campagna 2010). L'immagine dimostra un incremento progressivo della conducibilità elettrica nell'acque del T. Dolo, dovuto a continuo contributo di acque sotterranee fortemente mineralizzate nel torrente

Per verificare le situazioni ottimali di utilizzo della tecnica termografica in questo determinato contesto, due campagne di misura con condizioni ambientali antitetiche sono state realizzate in un periodo caldo (estate – luglio 2010) ed uno freddo (inverno – febbraio 2011):

- Il periodo estivo: magra spinta con deflussi del torrente Dolo di circa 300 l/s, umidità minima nel terreno circostante. Temperatura delle acque superficiali di circa 23 °C, Temperatura sorgenti di circa 20 °C. Peculiarità principale del periodo con riferimento alla tecnica utilizzata: forti differenze di umidità nel terreno.
- Il periodo invernale: portata del Torrente Dolo di circa 600 l/s, umidità massima nel terreno circostante. Temperatura delle acque superficiali prossime a 3° C, temperature delle sorgenti profonde a 15° C. Peculiarità principale del periodo con riferimento alla tecnica utilizzata: forti differenze di temperatura tra le acque e i terreni circostanti.

Durante entrambi i rilievi, al fine di integrare i dati forniti dalla termocamera, sono state misurate in sito con un multimetro CRISON MM40+ i parametri fisici (conduttività elettrica, sali totali disciolti-TDS, pH e temperatura) delle acque indagate.

4.2 Risultati dell'indagine

Le condizioni ambientali rilevate durante le due campagne sono riassunte nella tabella 2. Tali dati sono utili per interpretare le immagini all'infrarosso termico acquisite nei rilievi.

	Rilievo estate 2010	Rilievo inverno 2011
Temperatura media aria - mensile [°C]	23,1	4,0
Temperatura media aria -giornaliera [°C]	19,4	6,6
Temperatura T. Dolo [°C]	16,7	2,8
Temperatura sorgenti profonde rilevate [°C]	20,4	>15,0
Temperatura sorgenti superficiali presenti nell'area [°C]	≈13,0	≈9,0

Tabella 2 - Caratteristiche ambientali durante i rilievi

Nella prima campagna (luglio 2010) sono state acquisite le seguenti immagini discendendo il T. Dolo a valle del tempietto della Sorgente Romana e filmando le sponde opposte (distanza punto di ripresa – zona ripresa di circa 20 metri). Nella stessa giornata dell'indagine sono state misurate alcune sorgenti superficiali nell'area che hanno fornito temperature intorno ai 13 °C.

La prima sorgente è stata individuata sulla sponda destra del torrente in un deposito alluvionale recente emerso (Fig. 5). Durante la campagna la venuta mostrava temperature superiori di circa 3 °C a quelle del T. Dolo nelle immediate vicinanze ed inferiori a quelle del deposito alluvionale di circa 1 °C (temperatura maggiore 20 °C). Dalla immagine all'infrarosso termico si individua un piccolo plume a temperatura maggiore dove le acque delle sorgenti si miscelano con le acque del T. Dolo. La misura contemporanea con multimetro CRISON delle

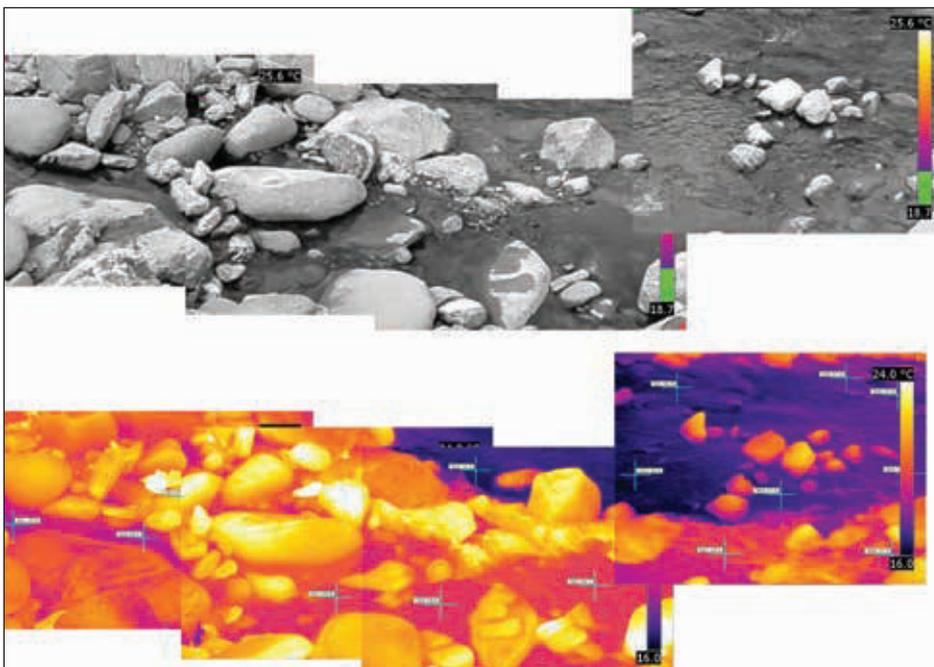


Figura 5 - Risultato del punto di ripresa A Luglio 2010. In alto immagine nel campo del visibile; in basso immagine all'infrarosso termico

caratteristiche fisiche dell'acqua hanno confermato l'anomalia della venuta (conducibilità elettrica 2120 $\mu\text{S}/\text{cm}$, TDS 1410 mg/l, pH 7,60, Temperatura 19,5 °C) rispetto al T. Dolo appena a lato (conducibilità elettrica 1059 $\mu\text{S}/\text{cm}$, TDS 676 mg/l, pH 8,46, Temperatura 16,7 °C).

La seconda sorgente è stata individuata sulla sponda destra del torrente, alla base del deposito alluvionale recente al contatto con il substrato sottostante (Fig. 6). La venuta in questo punto mostra una temperatura prossima a 20 °C, che risulta superiore a quella del Dolo di circa 4 °C e leggermente inferiore a quella del deposito alluvionale (circa 0,5 °C) (Fig. 6). Anche in questo caso si vede un piccolo pennacchio a temperatura maggiore dove le sorgenti si miscelano con il Dolo. La misura contemporanea con multimetro ha evidenziato le seguenti caratteristiche fisiche dell'acqua di sorgente: conducibilità elettrica 1519 $\mu\text{S}/\text{cm}$, TDS 972 mg/l, pH 7,53, Temperatura 20,3 °C; nel Dolo: conducibilità elettrica 1058 $\mu\text{S}/\text{cm}$, TDS 676 mg/l, pH 8,34, Temperatura 17,1 °C.

La terza sorgente è stata individuata al limite nord della finestra tettonica, sulla sponda sinistra del torrente. La venuta scaturisce in modo diffuso dando luogo a due emergenze, al contatto tra il substrato e il deposito alluvionale terrazzato sovrastante. La temperatura è superiore di quasi 4 °C a quelle riscontrate nel Dolo (Fig. 7). La misura contemporanea con multimetro delle venute ha confermato l'anomalia chimica dell'acque (Conducibilità elettrica 1506 $\mu\text{S}/\text{cm}$, TDS 962 mg/l, pH 7,43, Temperatura 20,3 °C).

Nella seconda campagna (febbraio 2011) si è focalizzata l'attenzione a monte del manufatto settecentesco, dato che un rilievo speditivo di conducibilità condotto in alveo nell'estate precedente aveva evidenziato un incremento di conducibilità già a monte della sorgente Romana. Durante questa campagna, filmando con la Termocamera le sponde opposte del torrente, sono state individuate 3 nuove sorgenti emergenti dal deposito alluvionale alla stessa quota, al limite tra la parete verticale del versante e il ter-

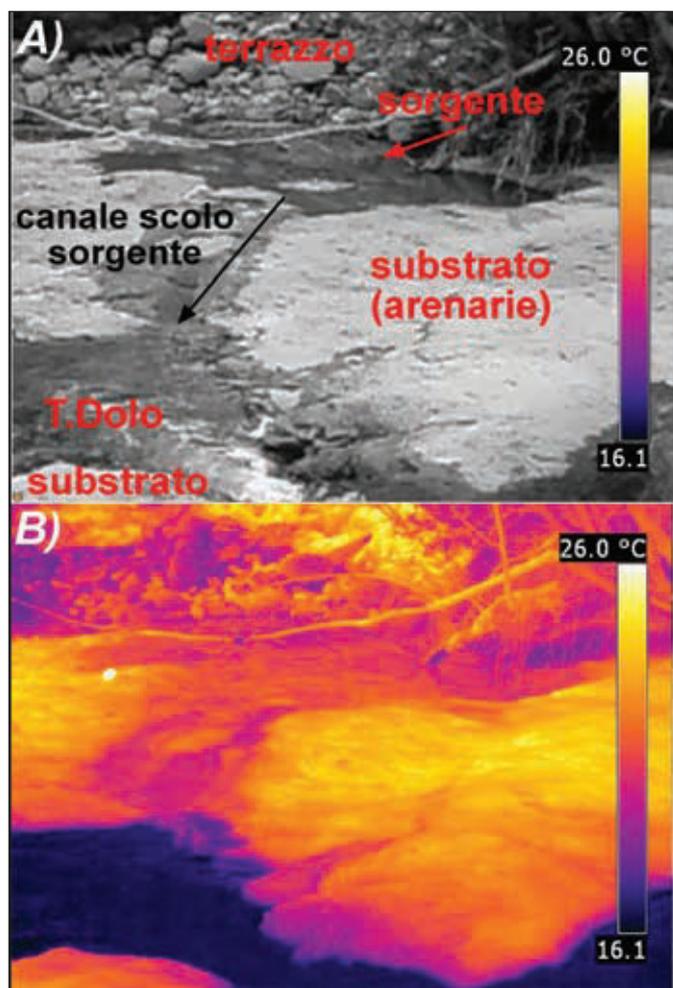


Figura 6 - Risultato del punto di ripresa B Luglio 2010. In alto immagine nel campo del visibile; in basso immagine all'infrarosso termico

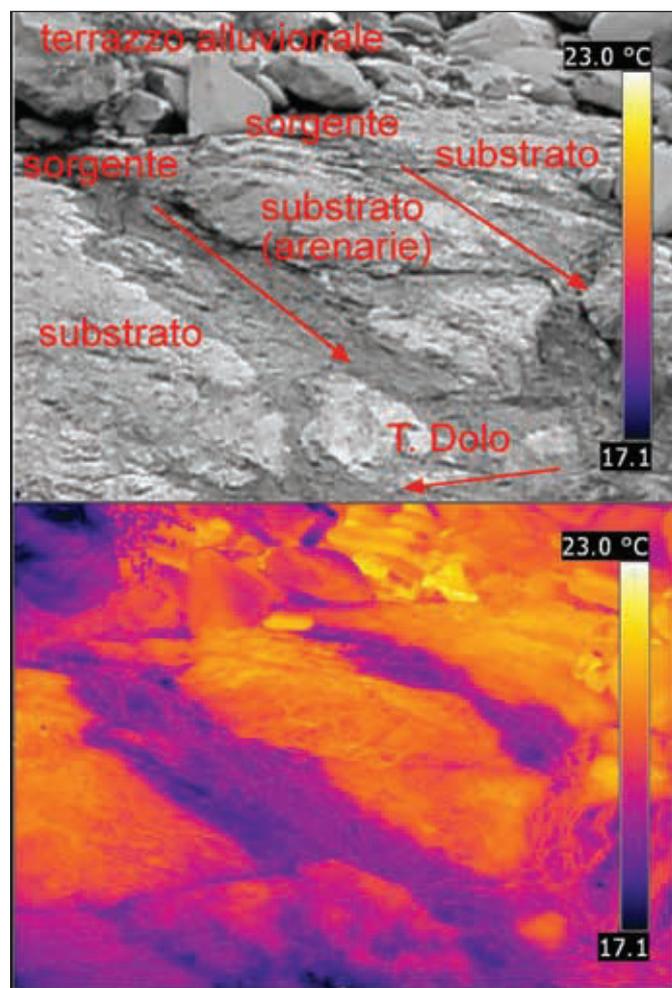


Figura 7 - Risultato del punto di ripresa C Luglio 2010. In alto immagine nel campo del visibile; in basso immagine all'infrarosso termico

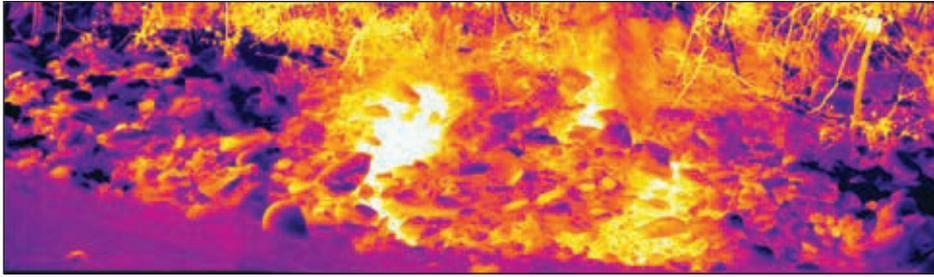


Figura 8 - Immagine panoramica del rilievo Febbraio 2011 nel campo dell'infrarosso termico

razzo alluvionale in parte ricoperto da vegetazione (Fig. 8). Le sorgenti individuate nell'immagine termica hanno temperature superiori a 15 °C, mentre il deposito alluvionale circostante ha temperature intorno a 0°C (Figura 9). La misura contemporanea con multimetro delle caratteristiche fisiche delle venute hanno confermato l'anomalia (Conducibilità elettrica >6000 µS/cm, TDS >3 g/l, pH 8,10, Temperatura 15,7 °C) rispetto all'acqua del T. Dolo (Conducibilità elettrica 350 µS/cm, TDS 226 mg/l, pH 8,67, Temperatura 2,8 °C).

5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Le immagini all'infrarosso termico possono fornire informazioni integrative alle normali tecniche di indagine in campo idrogeologico. Pur essendo una metodologia di tipo speditivo, essa fornisce, se applicata in condizioni ambientali idonee, dati accurati e può essere estesa, con impiego di tempo minimo, ad ampie porzioni di terreno. Nel caso di studio si è optato per l'utilizzo di una termocamera FLIR SC620 24° da piattaforma terrestre, caratterizzata da risoluzione della ripresa maggiore rispetto a quella ottenibile da piattaforme aeree o satellitari. Pur essendo prevalentemente impiegata per lo studio della dispersione termica dagli edifici, la termocamera ha permesso di individuare le venute di acque altamente mineralizzate dal materasso alluvionale del Torrente Dolo, confermate poi dall'utilizzo di una sonda multiparametri-

ca per il monitoraggio dei valori di conducibilità elettrica e temperatura.

In particolare, l'analisi ha permesso di ri-cartografare alcune delle sorgenti già censite dal precedente lavoro di Colombetti e Nicolodi (2005), ma il cui punto di emergenza era andato perso a causa di modifiche all'alveo (punto di ripresa A, B, C del 2010), oltre a nuove mai segnalate (punto di ripresa D - 2011). Alcune di queste sorgenti affiorano al contatto tra la superficie di strato delle arenarie e i sovrastanti depositi alluvionali (punti B, C), altre emergono all'interno di depositi alluvionali recenti (punto A) e altre ancora emergono dai depositi alluvionali terrazzati in prossimità delle pareti arenacee (punto D). Nonostante le portate limitate delle sorgenti (sempre inferiori ai < 0,5 l/s) e la conseguente omogeneizzazione della temperatura con l'ambiente circostante durante la loro risalita, la migliore definizione è stata ottenuta nella campagna invernale, quando il contrasto di energia termica tra le sorgenti e i mezzi circostanti era massimo.

In estate, sono state riscontrate difficoltà proprio a causa degli scarsi contrasti di temperatura tra le acque superficiali, profonde (di circa 4 °C) e i terreni circostanti, nonostante il rilievo fosse stato effettuato durante le prime ore del mattino. Il problema potrebbe essere stato accentuato dal fatto che le immagini all'infrarosso termico sono sensibili agli effetti di riflesso/riverbero sulla superficie delle rocce, con conseguente restituzione di uno spettro falsato.



Figura 9 - Set di immagini del rilievo di Febbraio 2011: A) immagine nel campo visibile; B) immagine mista nel campo visibile ed infrarosso termico; C) immagine nel campo dell'infrarosso termico

Tra i futuri sviluppi per la prospezione idrogeologica e geo-termica nell'area di Gova, si pensa di acquisire il dato termografico da piattaforma aerea, accoppiando una termocamera a un drone teleguidato, in modo da indagare l'intera superficie della finestra tettonica.

BIBLIOGRAFIA

- Anelli, L., Gorza, M., Pieri, M., & Riva, M. (1994). Subsurface well data in the Northern Apennines (Italy). *Memorie della Società Geologica Italiana*, 48(2), 461-471.
- Boschetti, T., Toscani, L., Shouakar-Stash, O., Iacumin, P., Venturelli, G., Mucchino, C., & Frape, S. K. (2011). Salt waters of the Northern Apennine Foredeep Basin (Italy): origin and evolution. *Aquatic Geochemistry*, 17(1), 71-108.
- Brunner, P., Franssen, H. J. H., Kgotlhang, L., Bauer-Gottwein, P., & Kinzelbach, W. (2007). How can remote sensing contribute in groundwater modeling?. *Hydrogeology journal*, 15(1), 5-18.
- Colombetti A. & Nicolodi F. (2005) - Le sorgenti a bassa termalità di Quara (Comune di Toano – Provincia di Reggio Emilia). *Geologia dell'Ambiente – periodico della Soc. It. Geol. Amb.* Anno XIII, n. 1, 12-16.
- Danielescu, S., MacQuarrie, K. T., & Faux, R. N. (2009). The integration of thermal infrared imaging, discharge measurements and numerical simulation to quantify the relative contributions of freshwater inflows to small estuaries in Atlantic Canada. *Hydrological Processes*, 23(20), 2847-2859.
- Marotta, D., & Sica, C. (1933). Composizione e classificazione delle acque minerali italiane. *Ann Chim Appl*, 23, 245-247.
- Plesi G., Daniele G., Palandri S., Balatri R. (col contributo di Bettelli G., Catanzariti R., Cerrina Feroni A., De Nardo M.T., Di Giulio A., Fossati L., Martinelli P., Mazzali A., Ottria G., Panini F.), 2002. Foglio 235 "Pievepelago". Regione Emilia Romagna, Bologna.
- Remitti, F., Bettelli, G., Panini, F., Carlini, M., & Vannucchi, P. (2012). Deformation, fluid flow, and mass transfer in the forearc of convergent margins: A two-day field trip in an ancient and exhumed erosive convergent margin in the Northern Apennines. *Field Guides*, 28, 1-33.
- Scicli, A. (1972). L'Attività estrattiva e le risorse minerarie della regione-Emilia-Romagna. Pacini editore, Modena, 728 pp.
- Schoeller, H. (1962) Les eaux souterraines Hydrologie dynamique et chimique, Recherche, Exploitation et Évaluation des Ressources, p. 642.