

Il GIS per la ricostruzione del campo di battaglia di El Alamein (Egitto, 1942) attraverso tecniche di *remote sensing* e analisi della cartografia storica militare

ALDINO BONDESAN^(1, 2), MAURICIO NICOLAS VERGARA⁽¹⁾, STEFANO FURLANI⁽¹⁾, LAMBERTO FABBRUCCI⁽²⁾, ROBERTO FRANCESE⁽³⁾, NICOLA PETRELLA⁽²⁾

(1) Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geografia "G. Morandini", aldino.bondesan@unipd.it

(2) SIGGMI – Società Italiana di Geografia e Geologia Militare, info@siggmi.it

(3) INOGS Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – Dipartimento di Geofisica della Litosfera, rfrancese@inogs.it

INTRODUZIONE

L'utilizzo di software capaci di archiviare ed elaborare informazioni geografiche di natura diversa ha consentito, negli ultimi anni, di affrontare lo studio di problemi, anche molto complessi, utilizzando dati georeferenziati, ovvero accomunati dalle stesse coordinate geografiche. La combinazione di tutte queste informazioni in un unico database geografico costituisce il GIS (Geographical Information System o SIT, Sistema Informativo Geografico), ovvero una serie di strumenti per raccogliere, immagazzinare, recuperare, trasformare e visualizzare dati spaziali nell'ambito di una serie di obiettivi (Burroughs, 1986).

L'utilizzo dei GIS per lo studio e la gestione delle informazioni a carattere storico-militare rappresenta un metodo sempre più utilizzato, in diversi ambiti geografici e per diverse problematiche trattate, come lo studio della campagna di Russia (Plini *et al.*, questo volume) o la mappatura delle gallerie belliche (Faccini *et al.*, questo volume). Interessanti applicazioni dei modelli digitali del terreno nello studio di problemi legati alla geografia militare sono stati approfonditi da Franklin & Guth (2008), Guth (2008) e Obrock & Guth (2008).

Le ricerche e gli studi presentati in questo lavoro rientrano nelle attività previste nel Progetto El Alamein, al quale collaborano numerosi Enti pubblici e privati ed Associazioni d'Arma ed è finalizzato alla salvaguardia dei luoghi della battaglia di El Alamein, attraverso la creazione di una banca dati geografica per la documentazione e la ricostruzione dei siti di interesse storico, attraverso tecnologie di *remote sensing* e geofisica terrestre. In particolare, la recente disponibilità di immagini satellitari ad alta risoluzione di un grande settore del Western Desert, in Egitto, ha permesso di scoprire migliaia di trincee, buche individuali, postazioni di artiglieria, zone fortificate e opere militari relative agli apprestamenti difensivi connessi alle tre battaglie di El Alamein. Attraverso l'uso del GIS è stato possibile confrontare queste informazioni con le carte militari storiche, opportunamente georeferenziate, ed i dati raccolti sul campo in una serie di missioni nel deserto.

LINEAMENTI GEOGRAFICI DELL'AREA DI STUDIO

L'area di studio (Fig. 1) è interamente localizzata nel cosiddetto deserto libico, o Western Desert, cioè il settore di Sahara che si trova ad Ovest del Nilo (Miller *et al.*, 2010; Embabi, 2004). Le tre battaglie di El Alamein si sono svolte in un'area compresa tra l'omonimo villaggio e l'altipiano di Naqb Rala, circa 80 km più a sud. Quest'ultimo supera di poco i 200 m di quota (216 m, Qaret El-Himeimat) per digradare dolcemente verso Nord. Nell'area sono presenti numerose depressioni, generalmente di forma allungata, le cui dimensioni arrivano a centinaia di chilometri, come la depressione di Qattara, estremo lembo meridionale dell'area di studio.

Da un punto di vista litologico, i termini più antichi si trovano nel settore meridionale, dove affiorano calcari ed arenarie del Miocene Inferiore della Formazione di Moghra (Conoco Coral and Egyptian General Petroleum Corporation, 1986-1987; El-Barkooky *et al.*, 2009) nella parte meridionale del Naqb-Rala e, procedendo verso Nord, la Formazione "Marmarica Limestone" sul Naqb Rala, il Pliocene, e,

verso il Mediterraneo, le barre Pleistoceniche (ne sono state riconosciute almeno 8) del delta del Nilo (Embabi, 2004).

La geomorfologia dell'area è caratterizzata nella parte meridionale da un altipiano, costituito da sette terrazzi di abrasione sovrapposti, tipo "cuestas", che digradano dolcemente a meridione verso la Depressione di Qattara, la quale nel punto più profondo raggiunge i -145 m; a nord invece si passa attraverso un sistema di Uadi fan verso le depressioni, in particolare Deir Alinda e Deir El Munassib. Più a Nord il terreno, pur topograficamente poco accidentato, è interessato dalla presenza dai dossi del paleodelta del Nilo (Embabi, 2004).

Il clima è generalmente di tipo subtropicale arido, con un inverno mite e poco piovoso lungo la costa ed estati secche e molto calde. Ad ogni modo, la piovosità diminuisce procedendo verso sud mentre aumenta la temperatura media e i tassi di evaporazione, tanto che il settore più meridionale del Deserto Libico è tra le regioni più secche della terra (Kehl & Bornkamm, 1993). In particolare, le precipitazioni si attestano attorno ai 200 mm l'anno



Figura 1 – Il campo di battaglia di El Alamein nel contesto del Mediterraneo.

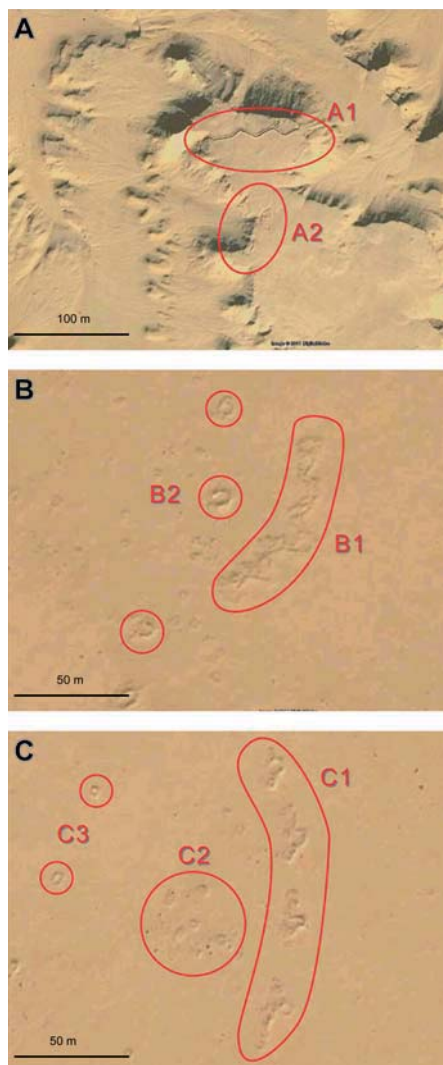


Figura 2 – Esempio di visualizzazione di elementi militari da immagini Quickbird del campo di battaglia di El Alamein. Fig. A) A1: trincerone-osservatorio della 15a cp/V btg/186° Rgt. Folgore a Naqb Rala; A2: trincee e postazioni sul ciglio dell'altopiano. Fig. B) B1: Caposaldo della 20a cp/VII Btg./187° Rgt. Folgore a Quota 105; B2: postazioni a tergo (posti comando/artiglierie/supporto). Fig. C) C1: Batteria di pezzi da 100/17 della Divisione Trieste aggregati al Raggruppamento Tattico Artiglieria Folgore a tergo di Quota 105; C2: buche da riposo per i serventi; C3: postazioni per ricovero veicoli e materiali di supporto.

lungo la costa e diminuiscono a meno di 50 mm sul Naqb Rala. Le temperature massime si registrano in luglio-agosto, con punte di 40°C e minime che raggiungono 0°C. I venti dominanti generalmente soffiano da Nord Ovest.

IL SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO

Il SIT per la gestione dei dati storico-archivistici e da rilevamento relativi al Progetto El Alamein costituisce una piattaforma integrata in grado di rappresentare rapidamente le informazioni in esso contenute. Il Sistema è stato sviluppato utilizzando principalmente la piattaforma ArcGIS 9[©] e versioni successive; numerosi passaggi intermedi però hanno visto l'utilizzo di software diversi, che si sono rivelati molto utili soprattutto nei rilievi sul campo, come ad esempio Google Earth ed i suoi strumenti di georeferenziazione, per il picking delle trincee e delle buche, AutoCAD Map[©], per la digitalizzazione, o ENVI[©], per



Figura 3 – Esempio di acquisizione fotografica di una trincea. Nella trincea sono visibili anche il numero progressivo assegnato alle trincee ed alle buche rilevate, il comparatore metrico e l'indicazione del Nord.



Figura 4 – L'immagine dell'epoca mostra una postazione di Bersaglieri con arma di squadra (fucile mitragliatore Breda 30).

l'elaborazione di dati telerilevati. Inizialmente, i problemi da risolvere erano principalmente legati alla scala ed alla georeferenziazione. Particolarmente complessa, e talora non del tutto precisa, è risultata la georeferenziazione degli schizzi del campo di battaglia disegnati dai reduci o reperiti nelle opere di ricostruzione storica, più per la scarsa precisione "topografico/geografica" sul campo, che per una loro inaffidabilità generale. In questi casi, il dato è stato contestualizzato alla morfologia dei luoghi e interpretato. Ad ogni modo, gli strumenti informatici utilizzati hanno consentito di gestire facilmente oggetti con risoluzioni spaziali diverse, come ad esempio cartografie o schizzi disegnati a scale diverse, o l'individuazione di forme naturali o antropiche di diverse dimensioni.

IMMAGINI DA SATELLITE

Lo studio geologico militare dell'area di El Alamein ha fatto uso di immagini satellitari provenienti da diverse fonti, in particolare immagini Quickbird, Aster e Landsat. Le immagini Quickbird sono state utilizzate per l'individuazione dei manufatti di guerra, come trincee, buche e piste ancora conservate sul campo di battaglia. QuickBird è un satelli-

te artificiale commerciale per telerilevamento ad alta risoluzione spaziale, di proprietà della DigitalGlobe, in grado di registrare immagini in pancromatico con una risoluzione di 60-70 centimetri, e in multispettrale immagini con risoluzione di circa 2,4-2,8 metri.

Le immagini Aster sono state utilizzate per l'interpretazione geologica e geomorfologica dell'area e la creazione di un Digital Terrain Model (DTM) della zona di El Alamein. L'*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) è uno dei cinque sensori remoti che si trovano a bordo del satellite per telerilevamento Terra (EOS AM-1). Il satellite fa parte del programma Earth Observing System (EOS) ed è stato posto in orbita geostazionaria, dalla NASA, nel 1999. In particolare, il sensore ASTER è attivo dal febbraio 2000. ASTER fornisce immagini ad alta risoluzione della Terra in quattordici lunghezze d'onda diverse, che vanno dallo spettro elettromagnetico della luce visibile fino all'infrarosso. La risoluzione angolare delle immagini è compresa tra 15 e 90 metri (Yamaguchi et al., 1998). I dati del sensore permettono la creazione di mappe dettagliate della temperatura, emissività, riflettanza ed elevazione della superficie terrestre.

Le immagini Landsat sono state utilizzate soprattutto per la definizione generale del campo di battaglia. Landsat è una costellazione di satelliti per telerilevamento. In questo lavoro sono stati utilizzati i dati provenienti dai satelliti Landsat-4 e Landsat-5, equipaggiati con un sensore che prende il nome di Thematic Mapper (TM), Landsat-6, che equipaggiava un Enhanced Thematic Mapper (ETM) e Landsat-7, con una risoluzione spaziale in pancromatico di 15 metri.

MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

Sono stati utilizzati il DEM Aster (risoluzione 30m/pixel) ed il DEM Srtm (risoluzione 90m/pixel, Farr et al., 2007) per ricavare le isoipse. Queste sono state confrontate con le informazioni meno dettagliate della carta topografica 1:100.000 (1942) previamente georeferenziata. Dall'utilizzo dei DEM, inoltre, sono state ricavate le seguenti elaborazioni, che sono servite per un approfondimento conoscitivo: carta delle pendenze, carta delle esposizioni e carte d'illuminazione. Queste elaborazioni si sono dimostrate particolarmente utili per evidenziare le principali caratteristiche geomorfologiche dell'area di studio, come la presenza di kurkar, di scarpate e di deir.

FOTO AEREE

Il GIS relativo al progetto El Alamein contiene numerose foto aeree in bianco e nero provenienti da alcune ricognizioni eseguite durante alcune fasi salienti della battaglia. Particolarmente significativi sono gli oltre 200 fotogrammi raccolti durante la ricognizione italiana di poco precedente la battaglia di Alam Halfa, in cui sono ben evidenti la dislocazione e la quantità dei mezzi e delle truppe schierate in campo inglese. Si tratta di una ripresa realizzata dalla Regia Aeronautica il 24 agosto 1942 con un aereo Cant Z 1007 bis appositamente attrezzato. Tutti i fotogrammi sono stati georeferenziati sulla base di punti di controllo riconosciuti dal confronto con le immagini satellitari odierne.

Le foto aeree dell'epoca sono integrate da immagini Corona e Soyuz, la cui bassa risoluzione tuttavia le rende meno utili alla ricostruzione del campo di battaglia.

Per la prima volta, nel corso dell'XI missione del progetto El Alamein che si è svolta nel novembre 2011, sono state realizzate delle foto di dettaglio di alcuni capisaldi utilizzando il sistema KAP (Kite Aerial Photograph). Questa tecnica, proposta per la prima volta nel 1886 da Arthur Batut ed utilizzata anche in ambito militare fino all'avvento dell'aviazione, consiste nell'effettuare fotografie da altezze variabili da pochi metri ad alcune centinaia, sollevando una macchina fotografica in posizione zenitale rispetto al terreno mediante un aquilone.

L'attrezzatura è composta da una slitta rotante dotata di automatismo di scatto (Sistema BEAK-AuRiCo con azionamento *gentLED* su fotocamera digitale a 13 megapixel).

Da un'altezza di circa 200 metri, nella sperimentazione condotta nel deserto, la KAP ha permesso il riconoscimento di alcune forme antropiche come i crateri generati dalle esplosioni e le tracce relative alla limitazione

reparti a livello di plotone che al riconoscimento di dettaglio delle strutture difensive.

CARTE TOPOGRAFICHE, CARTE MILITARI, SCHIZZI E DISEGNI

Sono state utilizzate tutte le carte topografiche del 1942, provenienti dall'Istituto Geografico Militare, ma basate su rilievi eseguiti dagli inglesi. In particolare sono stati

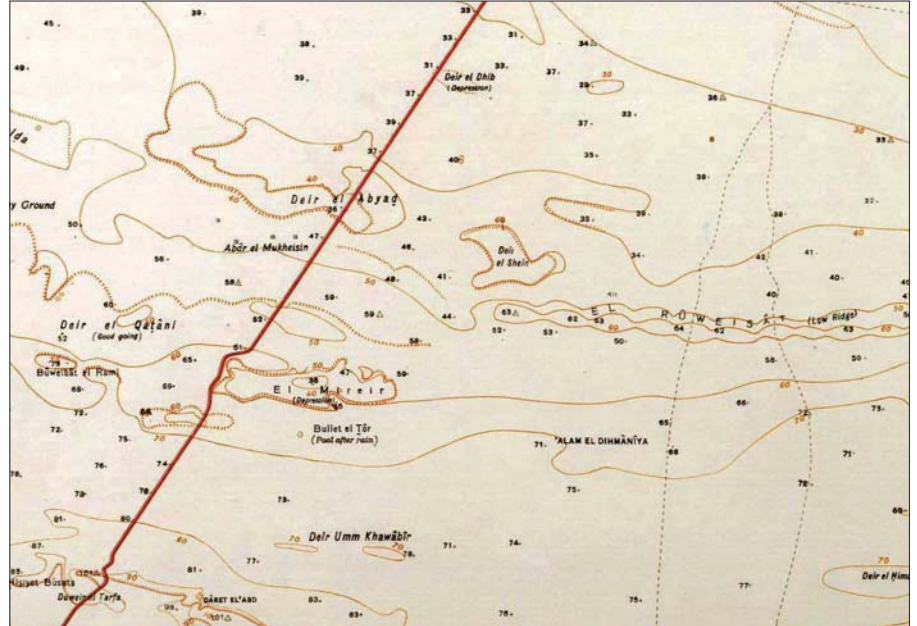


Figura 5 – Stralcio di carta topografica IGM 1:100.000 Foglio 88/36, El Alamein. Si noti la famosa cresta del Ruweisat, che costituisce uno dei cordoni costieri, e la Pista dell'Acqua (o Pista Rommel) indicata in rosso. Con linea tratteggiata nera sono indicate la Pista Whisky e la Pista Chianti.

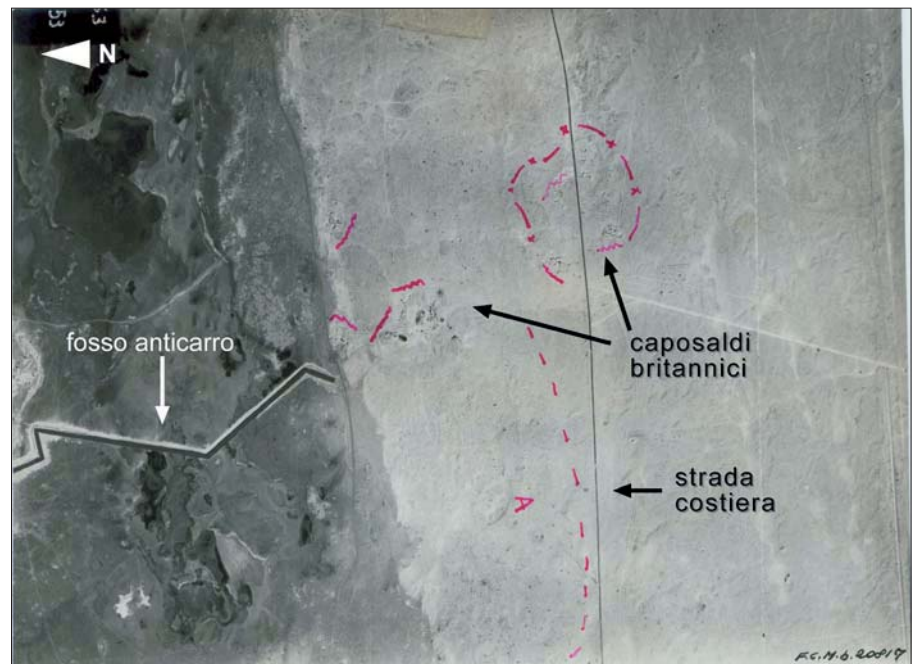


Figura 6 – Ripresa aerea del 24 agosto 1942, Regia Aeronautica. La foto riprende il settore costiero con la ferrovia e il fosso anticarro lungo la spiaggia. Le linee colorate indicano i capisaldi del campo trincerato inglese (annotazioni dell'epoca).

dei campi minati, non rilevabili dalle fotografie satellitari.

Uno studio più approfondito mediante questa tecnica, esteso ad altre aree del campo di battaglia ed unito ai rilevamenti sul terreno, permetterà di effettuare un'analisi particolareggiata sia della dislocazione dei

utilizzati i seguenti Fogli in scala 1:100.000: El Alamein, El Hammam, Mogra, Qaret Somara ed El Dab'a, che coprono tutta l'area di studio.

Come precedentemente esposto, nel GIS sono confluiti anche schizzi e disegni vari eseguiti sul campo durante le battaglie, co-

me ad esempio alcuni disegni sulle carte topografiche conservati all'Archivio dello Stato Maggiore a Roma, o gli schizzi del campo di battaglia ricostruiti a posteriori dai reduci.

Sono incluse anche carte tedesche con l'ubicazione dei campi minati, riproduzioni di carte originali, tra cui la carta di Rommel conservata presso i National Archives britannici, gli schemi presenti nei volumi dell'Ufficio Storico dello Stato Maggiore dell'Esercito e le pubblicazioni storiche ufficiali di Gran Bretagna, Australia e Nuova Zelanda.

DATABASE DEI MANUFATTI MILITARI

I dati provenienti dal rilevamento di campagna delle trincee e delle buche sono confluiti in un database costruito in Access©. Le schede di visualizzazione del sistema contengono tutte le informazioni delle schede utilizzate nei rilievi di campagna (Fig. 3), in modo da poter trasferire tutti i dati acquisiti sul terreno nel database. In particolare, la scheda contiene, oltre al codice identificativo, la data di compilazione e la relativa missione ed il nome del rilevatore. Vengono inoltre riportati le coordinate geografiche (WGS84), l'ubicazione e numerose informazioni relative alle caratteristiche ed all'uso delle trincee, tra le quali la forma, la tipologia ed il probabile impiego, le caratteristiche dimensionali, quelle geologico/geomorfologiche, l'esercito di appartenenza e unità, sulla base della localizzazione geografica e di eventuali reperti trovati all'interno della struttura.

È prevista inoltre una breve descrizione del manufatto e la sua relazione con eventuali manufatti vicini nonché la notazione dei lavori di ripristino (qualora siano stati effettivamente eseguiti). All'interno della scheda vi è inoltre il collegamento con le fotografie relative alla trincea e agli schizzi disegnati sul campo.

I rilevamenti sono stati eseguiti seguendo un protocollo standardizzato, in particolare per quanto riguarda l'acquisizione del materiale fotografico.

Il protocollo prevede che ogni elemento militare (trincea, buca) venga fotografato nelle quattro direzioni cardinali, facendo in

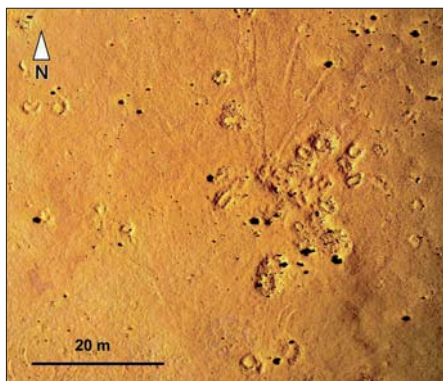


Figura 7 – Esempio di ripresa aerea con sistema KAP. Posizioni di un centro di fuoco della 22° Cp/VIII Btg/187° Rgt Folgore a fronte della Sacca Minata.

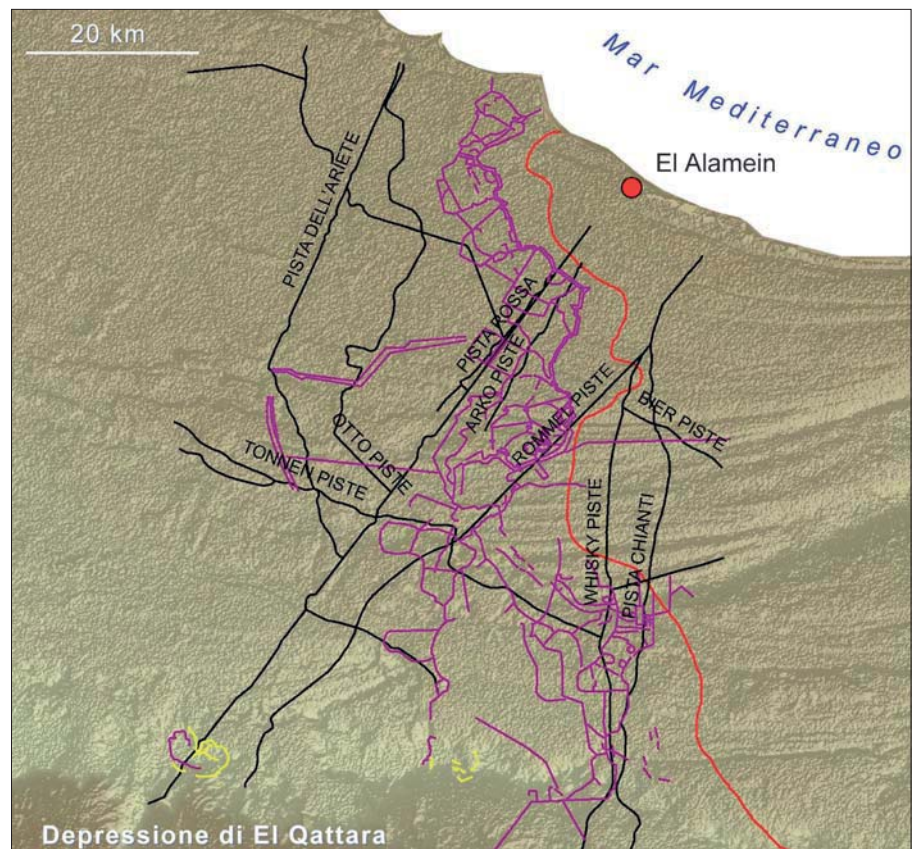


Figura 8 – Modello digitale del campo di battaglia di El Alamein desunto da dati SRTM. Legenda: linee magenta: campi minati; linee nere: piste; linea rossa: linea del fronte al 23 ottobre 1942.

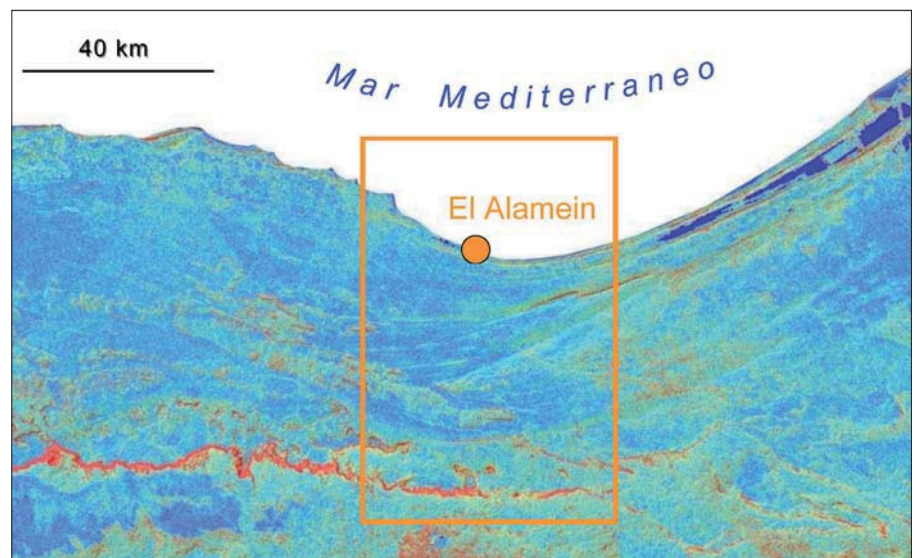


Figura 9 – Carta delle pendenze del settore del Deserto Occidentale a sud del Golfo degli Arabi. I colori rossi indicano le quote più elevate, i colori azzurri quelle più basse.

modo che nella fotografia siano presenti l'intera struttura e l'orizzonte. In questo modo è possibile ricostruire nel dettaglio sia il manufatto che l'ambiente circostante (Fig. 4). Il database inoltre contiene anche la scansione degli schizzi delle trincee eseguiti dai rilevatori.

FOTO STORICHE

Nell'ambito del progetto di ricerca sono state raccolte numerose fotografie storiche dell'epoca, relative sia ad aspetti militari che geografici. Le immagini acquisite con lo scanner sono state inserite nel GIS, quando

possibile approssimativamente nei punti di scatto presunti.

LA CARTA GEOLOGICA DEL FRONTE MERIDIONALE

Sulla base della carta 1:500.000 sviluppata dalla Conoco Coral and Egyptian General Petroleum Corporation (1986-1987) e di altra bibliografia geologica pregressa per quest'area (El-Barkooky *et al.*, 2009, Rushdi, 1990) sono stati interpretati i dati spettrali provenienti dal sensore ASTER, che hanno permesso di ottenere una carta geologica dell'area a scala 1:40.000. L'individuazione dei diversi affioramenti rocciosi e dei depositi

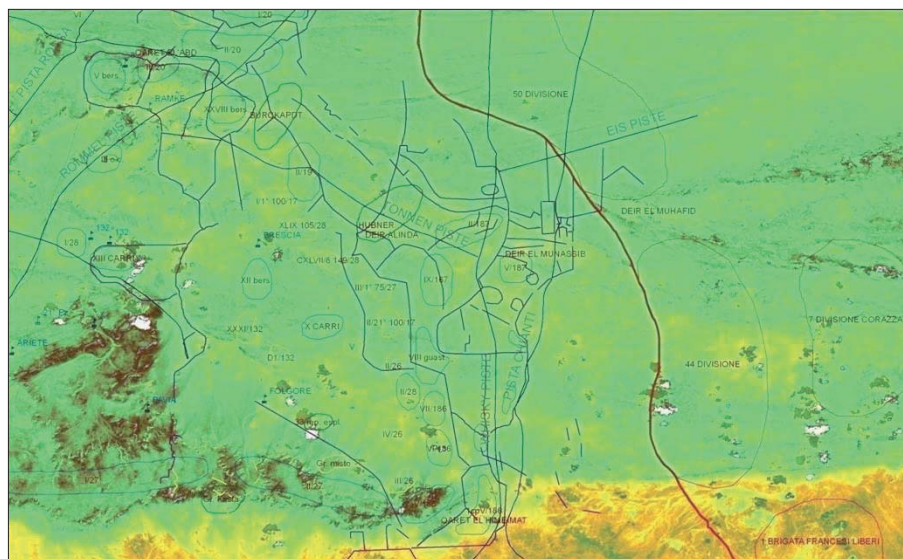


Figura 10 – Visualizzazione su DTM della dislocazione dei reparti a Quota 105. Digitalizzazione di informazioni da fonti storiche.

superficiali presenti nell'area è stata possibile grazie all'elaborazione dei dati satellitari. Sono state eseguite diverse composizioni RGB a falsi colori e trasformazione delle bande originali attraverso operazioni matematiche e statistiche, come rapporti tra bande o analisi delle componenti principali.

LA CARTA GEOMORFOLOGICA DEL FRONTE MERIDIONALE

Per la costruzione della carta geomorfologica a scala 1:40.000 della parte meridionale del fronte è stata eseguita una ricerca bibliografica che permettesse non solo di approfondire forme e processi che sono caratteristici degli ambienti desertici, ma pure che permettesse di avere informazione su quelle morfologie specifiche di quest'area, come i deir e i kurkar (Embabi, 2004). L'identifica-

Tabella 1 – Schede di rilevamento trincea e reperto

SCHEDE TRINCEA	SCHEDE REPERTO
Codice id: ...	Codice id: ...
Coordinate GPS (WGS84): ...	Coordinate GPS (WGS84): ...
Località: ...	Natura dell'oggetto: ...
Ubicazione: ...	Località: ...
Tipologia: <input type="checkbox"/> Trincea; <input type="checkbox"/> Buca; <input type="checkbox"/> Postazione: <input type="checkbox"/> con - <input type="checkbox"/> senza muretto difensivo; <input type="checkbox"/> Osservatorio	Ubicazione: ...
Impiego: <input type="checkbox"/> buca individuale; <input type="checkbox"/> postazione di artiglieria <input type="checkbox"/> postazione di mitragliatrice; <input type="checkbox"/> ricovero automezzi; <input type="checkbox"/> postazione per carro; <input type="checkbox"/> tenda; <input type="checkbox"/> altro:	Dimensioni: ...
Forma: <input type="checkbox"/> circolare; <input type="checkbox"/> rettangolare; <input type="checkbox"/> squadrata; <input type="checkbox"/> irregolare; <input type="checkbox"/> allungata; <input type="checkbox"/> a zig-zag; <input type="checkbox"/> altro: ...	Tipo/marca/modello/codice: ...
Larghezza o diametro (m):	Materiale: ...
Lunghezza (m):	Stato di conservazione: ...
Profondità dello scavo (m): prima del ripristino: ...; dopo il ripristino: ...	Collocazione topografica: <input type="checkbox"/> orlo della scarpata; <input type="checkbox"/> su versante; <input type="checkbox"/> ai piedi del versante; <input type="checkbox"/> su superficie di altopiano; <input type="checkbox"/> su piana aperta; <input type="checkbox"/> su cresta; <input type="checkbox"/> su cima; <input type="checkbox"/> altro: ...
Altezza dei muretti da p.c. (m): ...	Descrizione dettagliata: ...
Sacchetti di sabbia conservati: <input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no	Stato di conservazione: ...
Collocazione topografica: <input type="checkbox"/> orlo della scarpata; <input type="checkbox"/> su versante; <input type="checkbox"/> ai piedi del versante; <input type="checkbox"/> su superficie di altopiano; <input type="checkbox"/> su piana aperta; <input type="checkbox"/> su cresta; <input type="checkbox"/> su cima; <input type="checkbox"/> altro: ...	Autore del ritrovamento: ...
Substrato geologico: <input type="checkbox"/> roccia; <input type="checkbox"/> ciottoli; <input type="checkbox"/> ghiaia; <input type="checkbox"/> sabbia; <input type="checkbox"/> altro: indicare la formazione se riconosciuta:	Foto (n. di file): ...
Esercito di appartenenza: ...	Note: ...
Unità di appartenenza: ...	Data di ritrovamento: ...
Descrizione (con stato di conservazione): ...	Compilatore: ...
Relazione con altri manufatti: ...	Data di consegna: ...
Ripristino eseguito: <input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no	Consegnato a: ...
Data del ripristino: ...	Firma per ricevuta: ...
Operatori addetti al ripristino: Cognome-Nome-Ente/Associazione/Reparto	
Attività eseguite: ...	
Note: ...	
Presenza di materiali bellici (tipologia; quantità; ubicazione; distribuzione; conservazione): ...	
Campioni prelevati (n. di scheda): ...	
Foto pre-ripristino (n. di file): ...	
Foto post-ripristino (n. di file): ...	
Schizzo con punto di abbandono del cartellino identificativo (indicare scala e nord):	
Data: ...	
Compilatore: ...	

zione di queste forme si è basata principalmente sull'utilizzo del software Google Earth, sull'elaborazione dei dati provenienti dai DEM e sui risultati ottenuti dai CP (Control Points).

GROUND CONTROL POINTS

L'attività d'interpretazione dei dati telerilevati è stata supportata dalla scelta di 22 Ground Control Points (GCP). L'analisi dei punti di controllo ha perseguito i seguenti obiettivi:

- verifica della composizione litologica della superficie attraverso analisi puntuali delle firme spettrali ricavate dalle immagini ASTER;
- verifica a terra della corretta interpretazione dei dati satellitari ed acquisizione di ulteriori informazioni attraverso rilevamento fotografico;

L'analisi si è sviluppata attraverso le seguenti fasi:

1. determinazione dei punti di campionamento attraverso calcolo delle coordinate spaziali;
2. rilevamento fotografico in campagna; secondo un protocollo sviluppato ad hoc;
3. analisi delle firme spettrali mediante calcolo degli indici BR e RBD (Gomarasca, 2004; Rowan and Mars, 2003);
4. analisi statistica applicata agli indici BR e RBD ottenuti, attraverso misure di tendenza centrale e di variabilità, calcolo di frequenze e analisi bivariate tra i diversi indici;

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

L'utilizzo del GIS è stato particolarmente utile nella gestione dell'importante mole di dati, di natura diversa, raccolti nell'ambito del progetto. Il GIS ha permesso inoltre di poter comparare i dati storici ed archivistici con i rilievi sul terreno, questi ultimi intesi non solo come rilievi ex-novo, ma anche come riscontro diretto delle informazioni storiche sul terreno. In un territorio come quello studiato, inoltre, dove le trasformazioni morfologiche nell'arco di tempo indagato sono poco significative, la maggior parte degli apprestamenti difensivi si sono conservati. Nel settore settentrionale dell'area di studio invece, la recente urbanizzazione ha inciso pesantemente sulla possibilità di conservazione dei manufatti.

La possibilità di overlay, cioè di sovrapposizione dei dati, ha permesso di modificare geometricamente le carte storiche sulla base dei dati di campagna o di quelli telerilevati e di verificare con i dati provenienti dal controllo diretto sul terreno, cioè attraverso i sopralluoghi, gli scavi e la raccolta di reperti. La scarsa copertura vegetale dell'area ha permesso inoltre di poter utilizzare al meglio le immagini satellitari e di effettuare una buona lettura del terreno. Più complessa è stata invece la georeferenziazione delle carte stori-

che, in quanto i punti di controllo sono piuttosto scarsi e bisogna sovente far riferimento ad elementi topografici o geomorfologici. Da non sottovalutare neppure l'elevato numero di elementi da controllare.

La ricerca finora eseguita ha interessato in particolare il fronte meridionale italiano, da Deir El Munassib al Naqb Rala, occupato dalle Divisioni Folgore e Pavia, mentre ha approfondito meno i rilievi sul fronte settentrionale e il settore relativo alle forze alleate. Nei prossimi anni quindi le indagini saranno estese anche a questi settori. Fondamentale inoltre sarà il reperimento delle foto aeree originali della DAF (Desert Air Force), oggi non disponibili per problemi di archiviazione.

Infine, le ricerche eseguite nell'ambito del progetto El Alamein costituiscono un background necessario per numerose applicazioni sul territorio, in particolare per quanto riguarda i progetti di bonifica dalle mine, localmente ancora presenti nell'area, la creazione del parco storico del fronte della battaglia e di itinerari di visita. Una futura applicazione di possibile interesse per le scuole militari potrebbe essere l'organizzazione di *staff ride* sul campo di battaglia di El Alamein.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori sono in debito con i molti collaboratori afferenti al Progetto El Alamein. Tra questi Walter Amatobene, che ha organizzato la logistica delle spedizioni e contribuisce alla realizzazione di molte iniziative collegate al progetto. Anpd'I, Siggmi e www.congedati-folgore.com hanno promosso le missioni sul campo di battaglia. Gli autori sono grati ai quasi duecento volontari, la maggior parte paracadutisti, che negli ultimi due anni si sono recati a proprie spese nel deserto per contribuire al rilevamento del campo di battaglia.

BIBLIOGRAFIA

- ARMY MAP SERVICE (U.S.) 1955, *1:250.000, Burg el'Arab, sheet NH 35-8*, Washington.
- BORROUGHS P.A. (1986), *Principles of geographical information systems for land resource assessment*, Claredon Press, Oxford, U.K., 194.
- CONOCO CORAL AND EGYPTIAN GENERAL PETROLEUM CORPORATION (1986-1987), *The Geological Map of Egypt, 1:500.000*, 20 sheets, Cairo.
- EL-BARKOOKY A., HAMDAN M., HASSAN S.M., CHRISTIE-BLICK N., GOLDSTEIN S. & CAI Y. (2009), *Sequence Stratigraphy of the Lower Miocene Moghra Formation in the Qattara Depression, Northwestern Desert, Egypt*, AAPG Annual Convention, Denver, Colorado, June 7-10, 2009.
- EMBABI N.S. (2004), *The geomorphology of Egypt. Landforms and Evolution, Volume*

I, The Nile Valley and the Western Desert, The Egyptian Geographical Society Special Publication, Cairo, pp. 447.

FARR T.G. ET AL. (2007), *The Shuttle Radar Topography Mission*, Rev. Geophys., v. 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.

FRANKLIN K.B. & GUTH L. (2008), *Effects of DEM re-interpolation on viewshed computation*. In: NATHANAIL C.P., ABRAHART R.J. & BRADSHAW R.P. (Eds), *Military Geography and Geology: History and Technology*, Land Quality Press, 295-301.

GOMARASCA M.A. (2004), *Elementi di Geomatica*, Ed. Associazione Italiana di Telerilevamento, Galliate Lombardo (VA).

GUTH L. (2008), *Challenges for military application of high resolution Digital Elevation Models (DEMs)*. In: NATHANAIL C.P., ABRAHART R.J. & BRADSHAW R.P. (Eds), *Military Geography and Geology: History and Technology*, Land Quality Press, 303-312.

KEHL H. & BORNKAMM X. (1993), *Landscape ecology and vegetation units of the Western Desert of Egypt*. In: MEISSER, B. AND WYCISK, P. (Eds), *Geopotential Ecology Analysis of a Desert Region*, Catena Supplement, 26, pp. 407-438.

I.G.M. (1942), *Carta topografica 1:100.000. Fogli El Alamein, El Hammam, Magra, Qaret Somara ed El Dab'a*.

MILLER F.P., VANDOME A.F. & MCBREWSTER J. (2010), *Libyan Desert. Sahara, Nubian Desert, Hamada, Gif Kebir, Jebel Uweinat, Basement (geology), Oasis, Qattara Depression, Siwa Oasis, Dakhla Oasis*. Alphascript Publishing, pp. 89.

OBROCK K. & GUTH L. (2008), *Filling holes in SRTM DEMs using ASTER DEMs*. In: NATHANAIL C.P., ABRAHART R.J. & BRADSHAW R.P. (Eds), *Military Geography and Geology: History and Technology*, Land Quality Press, 313-322.

PLINI P., DI FRANCO S., DE SANTIS, V. & SALVATORI R. (2011), *Un sistema informativo geografico sulle operazioni dell'esercito italiano durante la campagna di Russia (1941-1943)*, Geologia e Ambiente, questo volume.

Rowan, L.C., Mars, J.C. (2003), *Lithological mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data*, Remote Sensing of Environment, v. 84, pp. 350-366.

RUSHDI S. (1990), *The geology of Egypt*, Egyptian General Petroleum Corporation, Conoco Hurgada Inc. and Respol Exploration, S.A., Rotterdam.

YAMAGUCHI, Y., KAHLE, A.B., TSU, H., KAWAKAMI, T., PNIEL, M. (1998), *Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 36, pp. 1062-1071.