

TECNOLOGIE DIGITALI INTEGRATE PER LO STUDIO DEL SITO ARCHEOLOGICO DI ADULIS (ERITREA)

1. INTRODUZIONE

Nel gennaio 2011 è stato avviato l'“Adulis Project”, un progetto archeologico italo-eritreo condotto dal Ce.R.D.O. (Centro di Ricerche sul Deserto Orientale) in collaborazione con il Centro di GeoTecnologie dell'Università degli Studi di Siena e il Museo Nazionale Eritreo¹. Lo scopo del Progetto è di riprendere le ricerche archeologiche nell'antica città di Adulis, collaborando con le autorità eritree alla sua riscoperta, valorizzazione e divulgazione.

Adulis è uno dei principali siti archeologici del Paese, ben noto nelle fonti letterarie antiche e già oggetto nel corso del XIX e XX secolo di ripetute campagne di scavo, seppur limitate e dispersive. La maggior parte di esse sono state edite solo parzialmente e sono state condotte quando il metodo del moderno scavo stratigrafico era ancora lontano dall'essere formulato, procedendo secondo le modalità dello sterro e, nei migliori dei casi, con una registrazione delle quote di rinvenimento di alcuni reperti significativi. All'avvio del Progetto, pertanto, mancavano dati stratigrafici affidabili in grado di delineare una periodizzazione dell'insediamento e una datazione articolata delle strutture. L'esigenza era, quindi, di localizzare tutti i vecchi scavi e di recuperare il più possibile dati stratigrafici, sia analizzando le informazioni provenienti dalle ricerche compiute in passato, sia aprendo nuovi saggi di scavo in aree ancora inesplorate.

2. IL SITO

Adulis (15.262187° N, 39.659807° E) si trova attualmente a circa 6 km dalla costa eritrea, sulla sponda sinistra del torrente Haddas e nei pressi dei moderni villaggi di Zula e Afta. Le strutture del sito si estendono su un'area pianeggiante di circa 23 ettari, attraversata in epoca moderna dal corso di un canale (wadi) di modeste dimensioni. In tutta l'area, coperta da una rada vegetazione ad arbusti, sono ben visibili strutture murarie affioranti in superficie e grossi cumuli di pietre pertinenti a crolli di edifici (Fig. 1).

¹ Fanno parte del team di ricerca italiano, oltre agli Autori, Alfredo e Angelo Castiglioni (Ce.R.D.O.), S. Massa (Università Cattolica di Milano), C. Zazzaro (Università “L'Orientale” di Napoli), G. Zanazzo (Ce.R.D.O.). Nel 2011 hanno partecipato anche B. Maurina (Museo Civico di Rovereto) e A. Manzo (Università “L'Orientale” di Napoli). I coordinatori del team eritreo sono Y. Libsekal, T. Medin e L. Tsehaie del Museo Nazionale Eritreo.

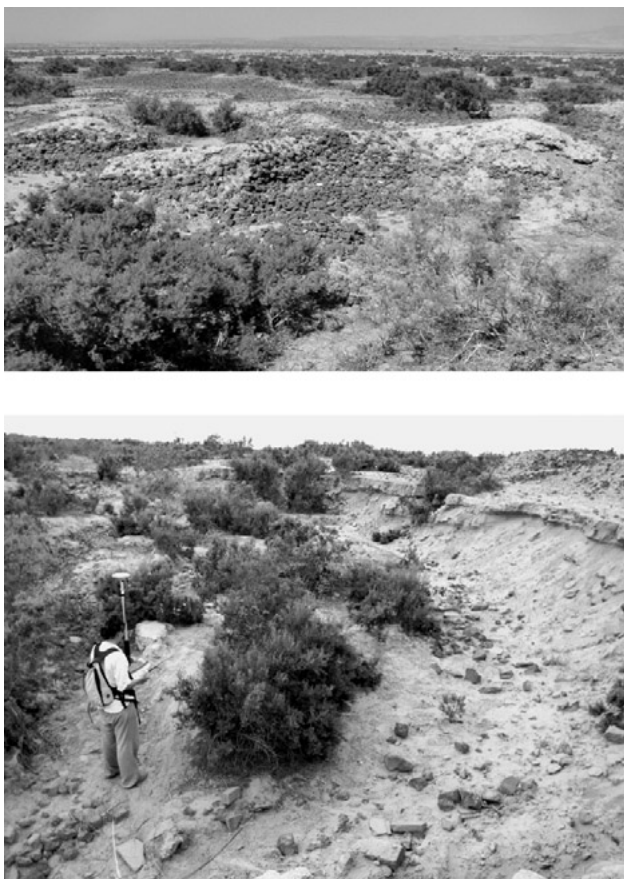


Fig. 1 – Vedute panoramiche del sito.

Al di là dell'estensione dell'insediamento e dell'imponenza di alcune strutture riportate alla luce nei secoli scorsi, la rilevanza del sito nelle dinamiche storiche di tutta l'area risulta ben evidente nella lettura delle fonti letterarie antiche, romane e bizantine. L'Anonimo autore del *Periplus Maris Erythraei*, Plinio il Vecchio, Procopio di Cesarea e Cosma Indicopleuste raccontano che in epoca romana e fino alla prima età bizantina il porto di Adulis costituì uno dei maggiori empori commerciali del Mar Rosso e un punto di riferimento fondamentale nei traffici commerciali tra il Mar Mediterraneo e l'Oceano Indiano (MUNRO-HAY 1982). Tra i prodotti esportati sono ricordati avorio, ossidiana, corno di rinoceronte e gusci di tartaruga; mentre tra i prodotti importati sono citati tessuti dall'Egitto, vetro dalla Giudea, metalli dall'In-

dia, olio e vino dall'Italia e dalla Siria. Fin dall'età ellenistica il Mar Rosso ha rappresentato un'importante area di contatto culturale e commerciale tra Mar Mediterraneo, Africa, Medio Oriente e Asia, e il settore sud-occidentale, nello specifico, è strettamente legato alle dinamiche di sviluppo che hanno caratterizzato il Regno di Aksum. In seguito proprio all'espansione aksumita verso le regioni costiere, avviata già dal III sec. d.C., anche Adulis entrò a far parte del Regno, diventandone il fulcro delle attività commerciali marittime e legando il proprio sviluppo e il proprio declino alle sorti del Regno stesso (ANFRAY 1974; MUNRO-HAY 1982, 1991a, b; FATTOVICH 2010).

2.1 Storia delle ricerche

I resti di Adulis vennero individuati per la prima volta da H. Salt all'inizio del XIX secolo (SALT 1814). Da quel momento in poi l'area venne indagata numerose volte attraverso indagini di superficie, sistematiche e non, e attraverso scavi, sia con trincee di piccole dimensioni che con scavi estensivi. La prima indagine condotta nel sito data al 1840 e fu ad opera di D. Vignaud e A. Petit nell'ambito della missione scientifica di T. Lefebvre in Abissinia. Si trattò di una perlustrazione di superficie che portò all'identificazione di quello che allora venne definito "il triangolo dei templi", cioè i resti di tre grandi edifici parzialmente crollati, collocati nel settore orientale della città a poca distanza uno dall'altro. Tutti gli edifici vennero all'epoca interpretati come strutture religiose di età bizantina (LEFEBVRE 1845).

Fu proprio su tali strutture che si concentrarono buona parte delle ricerche intraprese nel sito nei decenni successivi. Uno dei "templi" venne indagato nel 1868 dal Capitano dell'esercito inglese W. West Goodfellow durante la spedizione militare guidata da Lord Napier contro re Teodoro di Abissinia. Egli riportò alla luce una struttura absidata scandita all'interno da due ordini di colonne, che interpretò, in linea con le precedenti considerazioni di D. Vignaud e A. Petit, come una chiesa di età bizantina (HOLLAND, HOZIER 1870). Pochi anni dopo, sul finire dello stesso secolo, T. Bent soggiornò per un breve periodo nei pressi di Adulis e realizzò alcuni disegni dei capitelli e delle colonne rinvenute dal connazionale W.W. Goodfellow (BENT 1896).

Nel 1906 R. Sundström, nell'ambito della spedizione di E. Littman della Princeton University in Abissinia, scavò parzialmente il secondo dei tre "templi" individuati da D. Vignaud e A. Petit, interpretandolo, tuttavia, come un grande "palazzo" e non come un edificio religioso (SUNDSTRÖM 1907). Il terzo dei "templi" venne indagato l'anno successivo dall'archeologo italiano R. Paribeni, il quale riportò alla luce una chiesa bizantina di grandi dimensioni, fondata su un imponente basamento, forse di epoca precedente, che denominò "Ara del Sole". R. Paribeni identificò una quarta chiesa bizantina al margine orientale della città, ma senza avere il tempo di intraprenderne lo

scavo. Sempre in quello stesso anno R. Paribeni scavò numerose trincee in aree differenti del sito, portando alla luce una serie di quartieri residenziali, situati prevalentemente nel settore occidentale della città, e individuando proprio in questo settore i più antichi livelli di occupazione dell'area, pertinenti ad una fase precedente al dominio aksumita (PARIBENI 1907).

Gli ultimi scavi archeologici furono compiuti negli anni '60 del secolo scorso da F. Anfray in corrispondenza di alcuni consistenti crolli nell'area centrale della città, dove riportò alla luce un esteso quartiere residenziale (ANFRAY 1963, 1966, 1974). Infine, nel 2003 e nel 2004, D. Peacock e L. Blue dell'Università di Southampton condussero alcune indagini di superficie nel sito e nei territori circostanti, ampliando le informazioni sulla topografia della città e, in particolare, sulla sua contestualizzazione con l'ambiente e la regione costiera (PEACOCK, BLUE 2007).

2.2 *Ascesa e declino di Adulis*

Nonostante la città di Adulis sia ricordata ripetutamente nelle fonti letterarie antiche, poco è ancora noto delle sue origini e, più in generale, delle vicende anteriori al I sec. d.C. In seguito alle campagne di scavo condotte nel sito nel 2011 e nel 2012 è stato possibile, per la prima volta, analizzare la ceramica di produzione locale all'interno di una sequenza stratigrafica. Lo studio, condotto da C. Zazzaro e A. Manzo e tuttora in corso, documenta una tradizione locale di produzione ceramica attiva già nel I millennio a.C. e per tutto il I millennio d.C. (ZAZZARO 2009; ZAZZARO, MANZO 2012). Tale produzione locale, la cui esistenza era stata già suggerita da R. Paribeni (PARIBENI 1907) e da H. Munro-Hay (MUNRO-HAY 1989), è stata definita adulitaniana, proprio per sottolinearne la peculiarità territoriale (ZAZZARO, MANZO 2012).

Interessante in tal senso è la scoperta a Mersa Wadi/Gawasis, in Egitto, di alcuni frammenti di "early Adulis ware" (FATTOVICH 2012) e di ceramica proveniente dall'area etiopico-eritrea. I ritrovamenti provengono da un contesto risalente al II millennio a.C. e suggeriscono il coinvolgimento precoce del territorio di Adulis all'interno dei circuiti commerciali del Mar Rosso (MANZO 2010, 2012; FATTOVICH 2012; ZAZZARO, MANZO 2012). Inoltre, il riconoscimento da parte di C. Zazzaro di un coperchio di alabastro, proveniente dall'Arabia meridionale nella collezione Paribeni del Museo Nazionale Eritreo di Asmara, lascia supporre che il sito fosse in contatto con la costa opposta già nel III sec. a.C. (ZAZZARO 2009).

Questi dati sembrano fornire le prime evidenze stratigrafiche certe che il sito venne occupato ben prima di quanto attestato dalle fonti letterarie e che fosse già coinvolto nei commerci tra Egitto, Sudan e Sud Arabia, suggerendo che, fin dall'inizio della sua storia, Adulis e il suo territorio abbiano giocato

un ruolo cruciale nei commerci attraverso il Mar Rosso e nei collegamenti con l'altopiano (ZAZZARO, MANZO 2012).

Certa è la presenza di un insediamento strutturato dalla metà del I sec. d.C., che viene descritto dall'autore del *Periplus maris Erythraei* distante circa 20 stadi (circa 3,3 km) dal mare. Pochi anni dopo anche Plinio, nella *Naturalis Historia*, descrive Adulis come un centro commerciale di grandi dimensioni, punto di riferimento sia per la regione costiera che per le popolazioni degli altipiani, anche se non è chiaro se la grande dimensione si riferisca alla dimensione della città o al volume dei traffici.

Se le origini non sono ancora state del tutto chiarite, le cause alla base dell'abbandono di Adulis sono completamente sconosciute. Nel corso degli anni sono state avanzate ipotesi differenti, suffragate però da scarse evidenze archeologiche, mentre le fonti letterarie, a questo proposito, tacciono completamente.

I dati stratigrafici raccolti nel sito durante le attività del Progetto indicano un'occupazione almeno fino al VII sec. d.C., ma nulla suggeriscono in merito al declino della città. Durante gli scavi dell'inizio del secolo scorso, R. Paribeni e R. Sundström individuarono numerose tracce di incendio (PARIBENI 1907; SUNDSTROM 1907); tuttavia, non è assolutamente chiaro se tali tracce devono essere ricondotte ad una distruzione violenta della città oppure ad un singolo e isolato episodio. In ogni caso, Adulis sembra aver perso la propria autorità nella regione costiera nel 702 d.C. quando l'arabo 'Abd al-Malik occupa le isole Dahlak per contrastare la minaccia della pirateria (MUNRO-HAY 1982). Sembra plausibile ritenere che già nel corso del VII sec. d.C. sia iniziato per Adulis, così come per il regno aksumita, un declino irreversibile culminato nell'abbandono completo della città nell'VIII sec. d.C., parallelamente all'espansione islamica nel Mar Rosso e alla perdita dell'egemonia adulitana/aksumita sulle rotte commerciali marittime (PEACOCK, BLUE 2007).

3. OBIETTIVI DELLE CAMPAGNE DI RICERCA 2011 E 2012

Il primo obiettivo delle campagne di ricerca svolte nel sito nel gennaio/febbraio 2011 e nel gennaio/febbraio 2012 era di riprendere gli scavi archeologici, con indagini mirate al recupero di vecchi scavi e all'analisi della stratigrafia dell'insediamento. Gli scavi realizzati tra XIX e XX secolo hanno riscoperto numerose strutture, sia a carattere residenziale che religioso, alcune delle quali anche monumentali, senza tuttavia restituirci alcuna informazione stratigrafica certa, essendo tutti condotti, per motivi cronologici, secondo la tecnica dello sterro. Nelle stesse relazioni di scavo manca un qualsiasi accenno alla successione stratigrafica, con solamente generici riferimenti alle quote di rinvenimento dei reperti, informazione che in mancanza di un quadro stratigrafico completo può risultare assai fuorviante.

Il secondo obiettivo era di aggiornare, ampliare e approfondire la topografia dell'area per meglio comprendere la morfologia del sito e l'articolazione della città. L'unica topografia moderna disponibile, elaborata dal team diretto da D. Peacock e L. Blue (PEACOCK, BLUE 2007), risaliva al 2004, ma non abbracciava interamente l'area interessata dalle strutture e, in particolare, non riportava i vecchi scavi condotti nell'area, né le strutture ancora visibili in superficie. Si è per questo deciso di realizzare un nuovo rilievo che sopperisse a queste mancanze.

4. I SETTORI DI SCAVO

Durante le prime due campagne sono stati aperti e indagati stratigraficamente tre settori. Le attività di scavo sono ancora in corso e, per questo motivo, si hanno al momento a disposizione risultati solo parziali. Il Settore 1, coordinato da C. Zazzaro, è stato aperto in corrispondenza del margine sud-occidentale del sito, laddove R. Paribeni aveva individuato una lunga sequenza stratigrafica e le fasi più antiche della città, con l'obiettivo di individuare tali fasi e indagarle stratigraficamente. Gli scavi hanno finora portato alla luce resti di capanne, focolari e strutture in pietra: le fasi più antiche finora individuate sono precedenti al III-IV sec. d.C. (ZAZZARO, MANZO 2012) (Fig. 2).

Il Settore 2, coordinato da B. Maurina nel 2011 e da S. Massa nel 2012, è stato aperto nella zona centrale del sito per riportare alla luce una monumentale struttura già scavata dallo stesso R. Paribeni, ma completamente rinterrata da episodi alluvionali successivi. Attualmente sopravvivono i resti dei muri di una chiesa paleocristiana a pianta rettangolare, con abside fiancheggiata da due camere (*pasthophoria*), impostata su un basamento realizzato con una tecnica edilizia tipica della regione e definita "graduated or step masonry" (PHILLIPSON 1997). Dai materiali associati rinvenuti da R. Paribeni è stato possibile datare la chiesa al VI-VII sec. d.C., mentre resta ancora da chiarire il rapporto con il basamento, forse di epoca precedente (PARIBENI 1907) (Fig. 3).

Il Settore 3, coordinato dagli Autori², è stato aperto in un'area dove non erano mai stati condotti scavi in precedenza, con l'obiettivo di indagare una sequenza stratigrafica intatta. Sotto una serie di depositi alluvionali, testimonianza del susseguirsi nell'area di alluvioni periodiche che hanno interessato le zone più basse del sito, sono stati parzialmente riportati alla luce alcuni muri che delimitano ambienti di un grande edificio. I reperti finora rinvenuti nella porzione più superficiale del crollo dei muri sono datati tra la metà del III e il VII sec d.C. (Fig. 4).

² Condotta in collaborazione con Yonas Zemuy, Issaias Tesfa'ezghi, Bereket Weldegebriel Gebrewold, membri del team eritreo.



Fig. 2 – Il Settore di scavo 1 durante una fase del rilievo.



Fig. 3 – La struttura monumentale scavata da R. Paribeni nel Settore 2, in una foto dell'epoca (PARIBENI 1907).

Per localizzare correttamente tutti i settori di scavo all'interno del sito e per avere omogeneità nella documentazione si è deciso di impostare un'unica quadrettatura di riferimento su tutta l'area, attraverso l'uso integrato della stazione totale e del GPS. È stata innanzitutto realizzata una griglia regolare di 800×400 m, composta da quadrati di 50 m di lato e impiegata come base di appoggio per tutte le operazioni di rilievo nei singoli settori. Successivamente, per la raccolta dei materiali archeologici provenienti dagli scavi e per realizzare rilievi di dettaglio, in ogni settore è stata impostata una griglia di riferimento



Fig. 4 – Il Settore 3 al termine della seconda campagna di scavo.

più fitta, composta da quadrati di 2 m di lato. Infine, la griglia è stata georeferenziata posizionando i vertici con misurazioni GPS in modalità statica.

Per quel che riguarda la documentazione grafica di scavo, si è evitato il tradizionale rilievo manuale, che avrebbe comportato tempi troppo lunghi, adottando, invece, tecniche di rilievo basate sulla fotogrammetria terrestre, attraverso la realizzazione di fotopiani rettificati e georeferenziati a partire da riprese fotografiche zenitali. I fotopiani sono serviti come base per il disegno dei singoli elementi (strutture murarie, unità stratigrafiche, etc.), che sono stati vettorializzati utilizzando gli strumenti propri dell'ambiente GIS. Tutti gli elementi così digitalizzati sono stati successivamente organizzati all'interno di un geodatabase.

5. LA GESTIONE DEI DATI IN AMBIENTE GIS OPEN SOURCE

Il complesso lavoro di documentazione richiesto dalle attività di ricerca nel sito ha fatto emergere la necessità di una gestione dei dati attraverso l'utilizzo

di un sistema informativo geografico in grado di gestire, elaborare e integrare tutti i dati raccolti. Nelle fasi iniziali del progetto si era ricorso all'utilizzo di un software GIS di tipo commerciale, ma con il progredire del lavoro ci si è presto resi conto che tale applicazione non soddisfaceva appieno le esigenze del Progetto. Gli elevati costi di licenza ne rendevano problematica l'installazione tra i membri del team di ricerca, provenienti da enti e nazioni diverse, in particolare per la controparte eritrea. Si è, quindi, deciso di utilizzare una soluzione completamente open source. La piattaforma GIS utilizzata è basata sull'abbinamento del desktop GIS open source Quantum GIS e del plugin pyArchInit (MANDOLESI 2009), un plugin scritto in python sviluppato da L. Mandolesi appositamente per il lavoro archeologico (<http://pyarchinit.blogspot.it/>). Nato in principio per la gestione delle schede di Unità Stratigrafica e delle piante di scavo, pyArchInit è stato progressivamente allargato ad un ambito di lavoro più esteso, aggiungendo la possibilità di gestire i dati di indagini territoriali attraverso una scheda di Unità Topografica, sviluppata da M. Zappitelli.

Il geodatabase contenente tutti i dati, basato su PostgreSQL con estensione PostGIS per la gestione dei dati di tipo spaziale, è stato centralizzato su un unico server e reso accessibile ai membri del progetto in modalità remota. Questo rende possibile l'aggiornamento del geodatabase da parte di tutto il team, ciascuno per quanto gli compete, permettendo di consultare e di accedere in tempo reale a tutti i dati di scavo, laddove fosse presente una connessione Internet. PyArchInit consente la gestione simultanea dei dati topografici/cartografici e alfanumerici, consentendo di effettuare ricerche per US (Unità Stratigrafiche) e UT (Unità Topografica) e visualizzarne le schede collegate, le fotografie, i reperti ed elaborare piante di fase (Fig. 5). PyArchInit ha poi un'elevata possibilità di adattamento alle esigenze specifiche del progetto, consentendo la personalizzazione di alcuni aspetti dell'applicazione e lo sviluppo di nuovi moduli perfettamente integrati all'interno delle altre funzioni dell'applicazione. In particolare, in queste prime fasi del lavoro ci si è concentrati sulla traduzione in inglese dell'interfaccia, esigenza fondamentale in un progetto di tale respiro internazionale, sullo sviluppo di un modulo per la schedatura e la catalogazione della ceramica locale e sullo sviluppo di un modulo per la gestione statistica dei reperti basato sul modulo R manager di Quantum GIS (BIGLIARDI, CAPPELLI, COCCA 2013).

6. IL RILIEVO TOPOGRAFICO

Il rilievo topografico è stato condotto integrando tecniche differenti. Prima dell'avvio delle missioni sul campo è stata realizzata un'analisi preliminare su un'immagine satellitare appositamente acquistata. Una volta sul campo, le informazioni così desunte sono state verificate e integrate da un rilievo GPS.

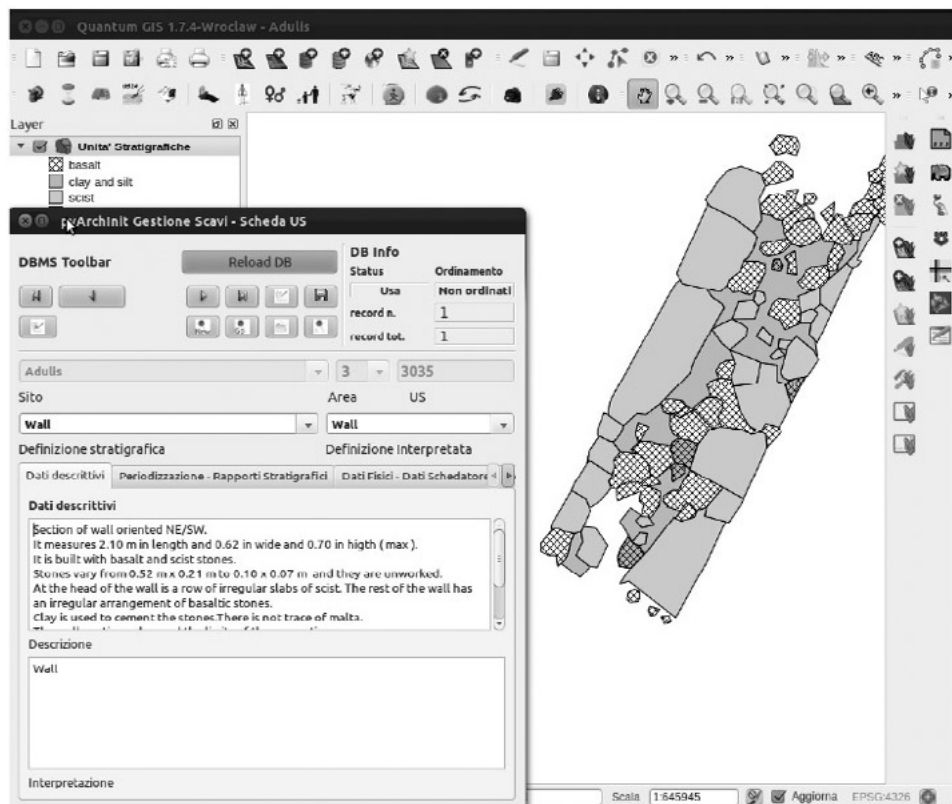


Fig. 5 – Interfaccia grafica della scheda US all'interno di pyArchInit.

6.1 Analisi dell'immagine QuickBird

L'immagine utilizzata in questo studio è stata acquisita dal satellite QuickBird (QB) nell'ottobre 2003 e acquistata dall'archivio DigitalGlobe. L'immagine è di livello standard con pixel ricampionato in modo da ottenere una risoluzione geometrica al suolo pari a 0,60 m in modalità pancromatica e 2,40 m in modalità multispettrale³. In anni recenti è stata ampiamente dimostrata l'utilità delle immagini satellitari ad altissima risoluzione nell'indagine archeologica ed esistono in letteratura numerosi esempi del loro positivo impiego nell'individuazione e nello studio di elementi archeologici (ad es. CAMPANA,

³ Il ricampionamento del pixel è stato ottenuto mediante il metodo di interpolazione 4x4 cubic convolution.

PRANZINI 2001; LASAPONARA, MASINI 2005; DE LAET, PAULISSEN, WAEKENS 2007; CASANA, COTHREN 2008; GARRISON *et al.* 2008; PARCAK 2009; TRIER, LARSEN, SOLBERG 2009; ROSS, SOBOTKOVA, BURGERS 2009; LASAPONARA, MASINI 2012). La lettura e l'interpretazione dell'immagine, anche in questo caso, hanno fornito un contributo fondamentale per lo studio preliminare dell'impianto urbano e per indirizzare le attività sul campo.

L'immagine è stata elaborata con l'obiettivo di individuare ed enfatizzare tracce (*marks*) presenti sulla superficie del terreno indotte dalla presenza di resti archeologici sepolti o affioranti in superficie e riconoscibili grazie alle anomalie del suolo in termini di umidità (*damp-marks*), colore e composizione (*soil sites*), oltre che di crescita e stato di salute della copertura vegetale (*grass-weed-crop-marks*) (CRAWFORD 1929; DASSIE 1978; WILSON 1982; ALVISI 1989; PICCARRETA, CERAUDO 2000). È necessario premettere che l'area del sito è pianeggiante ed è caratterizzata in superficie dalla presenza di un suolo prevalentemente limoso-sabbioso con rarissima copertura erbacea, limitata ad alcuni periodi dell'anno, e frequenti cespugli di acacia di piccole dimensioni con area foliare molto limitata. Per meglio evidenziare tracce e anomalie superficiali sono state effettuate differenti elaborazioni, quali data fusion, decorrelation stretching, colour composite RGB, mappa del Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

6.1.1 Data fusion

Il primo passaggio è stato il data fusion (ZHANG 2004; NIKOLAKOPOULOS 2008) tra la ripresa pancromatica e quella multispettrale. Attraverso questa procedura è possibile comporre o assemblare proprietà e caratteristiche di immagini differenti. In questo caso la procedura è stata utile per integrare l'alta risoluzione spaziale della ripresa pancromatica con le informazioni spettrali della ripresa multispettrale. Il risultato è un'immagine pan-sharpened multispettrale ad alta risoluzione spaziale (0,60 m) (CHAVEZ, SIDES, ANDERSON 1991). L'immagine pan-sharpened è stata successivamente migliorata applicando un decorrelation stretching, una forma di elaborazione particolarmente utile quando si visualizzano dati multispettrali molto correlati tra di loro, come nel caso in questione, allo scopo di ottenere una gamma cromatica più ampia (GILLESPIE, KAHLE, WALKER 1986). Il risultato è stato utile per enfatizzare la presenza di alcune anomalie lineari, con molta probabilità muri, non ben distinguibili nelle altre immagini (Anomalia 1) (Fig. 6).

6.1.2 Colour composite

L'immagine pan-sharpened è stata visualizzata a falsi colori e, in particolare nella colour composite RGB 423 (NIR/Green/Red), è stato possibile distinguere molto chiaramente la sporadica vegetazione presente nell'immagine, evidenziata dai pixel di colore rosso, da altri elementi presenti sulla

superficie del terreno. Nel dettaglio, è stato possibile distinguere una serie di tracce di tonalità più scura rispetto al terreno circostante, caratterizzate da forma e dimensioni irregolari e contorni sfumati, e concentrate in un'area ben circoscrivibile (Anomalia 2). In associazione a queste tracce, è riconoscibile un'altra serie di tracce di tonalità molto scura, di forma prevalentemente lineare e con bordi ben definiti (Anomalia 3) (Fig. 7).

Fin dal principio si è ipotizzato che tali tracce fossero riconducibili ad anomalie del terreno dovute alla presenza di elementi antropici presenti o affioranti sulla superficie, o sepolti a poca profondità, e che pertanto indicassero l'estensione minima del sito. Per quanto riguarda il primo tipo di tracce (Anomalia 2), l'ipotesi era che si trattasse di tracce dovute ad una maggiore umidità del terreno rispetto alle aree circostanti, come risulta ben visibile dall'analisi visuale della banda nell'infrarosso vicino e del rosso. In assenza di copertura vegetale, infatti, i suoli umidi si rivelano particolarmente assorbenti proprio nell'infrarosso vicino e col crescere della lunghezza d'onda dal rosso verso l'infrarosso cresce il contrasto con i suoli aridi, che sono al contrario particolarmente riflettenti (SCOLLAR *et al.* 1990).

6.1.3 Mappa NDVI

Per quanto riguarda le anomalie lineari di tonalità molto scura (Anomalia 3), un risultato interessante è stato ottenuto anche dal calcolo del NDVI. Si tratta di uno dei più semplici indici di vegetazione o di biomassa, dal quale è possibile ottenere una mappa della quantità e qualità di vegetazione presente in una zona (LILLESAND, KIEFER 2000; LASAPONARA, MASINI 2006). Quest'operazione rende possibile l'identificazione di strutture che favoriscono o inibiscono lo sviluppo della vegetazione, creando aree anomale rispetto alle aree circostanti. Alla mappa NDVI è stato applicato un contrast stretching lineare del tipo minimo-massimo migliorando il contrasto dell'immagine per scongiurare che pixel relativi a materiali ed elementi diversi possano avere valori di luminosità simili (TUCKER 1979). Una volta applicato il contrast stretching risultano essere meglio distinguibili alcuni di tali elementi lineari (Anomalia 3), con ogni probabilità muri, solo in parte già visibili nell'immagine pan-sharpened e nella pancromatica originale (Fig. 8).

6.1.4 Layer stacking

Attraverso un procedimento di layer stacking sono state costruite nuove immagini multi banda utilizzando alcune delle immagini prodotte nelle precedenti elaborazioni. I risultati migliori sono stati due: quello ottenuto dall'assemblaggio dell'immagine pancromatica originale con la banda del vicino infrarosso dell'immagine pan-sharpened e la mappa NDVI, e quello ottenuto dall'assemblaggio dell'immagine pancromatica originale con la banda del rosso dell'immagine pan-sharpened e la mappa NDVI. Entrambe le imma-

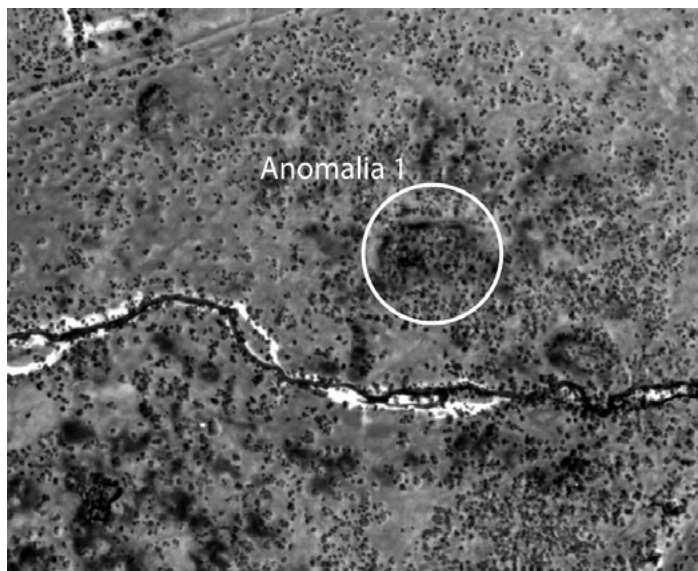


Fig. 6 – L'immagine pan-sharpened dopo l'applicazione del decorrelation stretching (Band 4): risultano ben visibili alcuni elementi strutturali dello scavo di R. Sundström, ora non più conservati (Anomalia 1).

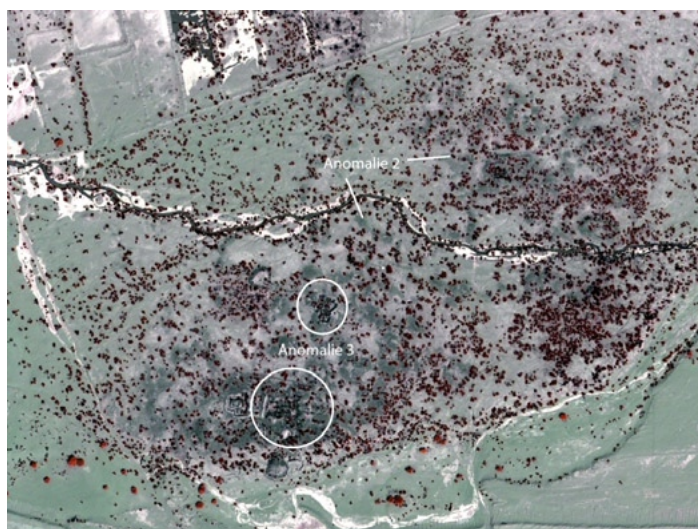


Fig. 7 – L'immagine pan-sharpened nella visualizzazione colour composite RGB 423 (NIR/Green/Red): risultano ben visibili le Anomalie 2 e 3.

gini così ottenute sono state particolarmente utili in fase di interpretazione visuale e di digitalizzazione per enfatizzare la distinzione tra le anomalie, sia quelle lineari che quelle di forma irregolare (rispettivamente Anomalie 3 e 2), e la vegetazione (Fig. 9).

6.1.5 Analisi visuale

Tutte le tracce individuate dall'analisi visuale delle immagini così elaborate sono state digitalizzate e gestite all'interno dell'ambiente GIS. In questa prima fase di analisi visuale le tracce sono state semplicemente registrate, descritte come tali e digitalizzate. La loro definizione e interpretazione è stata demandata alla fase di verifica sul campo.

6.2 Il rilievo GPS

Nel corso delle prime due missioni sul campo, parallelamente alle attività di scavo archeologico, è stata condotta una campagna di rilievo GPS con tre obiettivi principali:

- verificare le tracce individuate sulle immagini satellitari;
- posizionare tutti i vecchi scavi eseguiti nell'area della città nei secoli precedenti e gli elementi archeologici presenti in superficie;
- realizzare una nuova topografia di tutta l'area interessata da strutture, con un buon dettaglio morfologico da cui ottenere un DEM di alta precisione.

Sono state create e posizionate due stazioni di riferimento, una al limite N del sito e una al limite S, entrambe in una posizione approssimativamente centrale rispetto all'area della città e in zone particolarmente elevate rispetto al territorio circostante. Entrambe le stazioni sono state misurate con due GPS in modalità statica con un tempo di acquisizione di oltre 4 ore. Utilizzando di volta in volta una di tali stazioni come reference è stata successivamente realizzata una serie di misurazioni nel sito in modalità Real Time Kinematic (RTK), utilizzando quindi un secondo GPS come rover. In mancanza di una cartografia a grande scala, l'immagine pan-sharpened è stata utilizzata come base topografica durante tutte le fasi del rilievo.

In cinque settimane sono stati misurati oltre 14.500 punti in un'area di circa 40 ettari, relativi alla superficie e alla morfologia del terreno, ai limiti dei vecchi e nuovi scavi e alle strutture archeologiche visibili in superficie. Inoltre, sono state verificate tutte le tracce registrate nell'analisi visuale delle immagini QB, al fine di specificarne la reale pertinenza ad elementi archeologici e, in tal caso, trarne un'interpretazione e, quando possibile, una cronologia.

6.3 L'elaborazione del DEM

I punti misurati durante il rilievo GPS sono stati elaborati per costruire un Digital Elevation Model (DEM), cioè il modello altimetrico digitale del

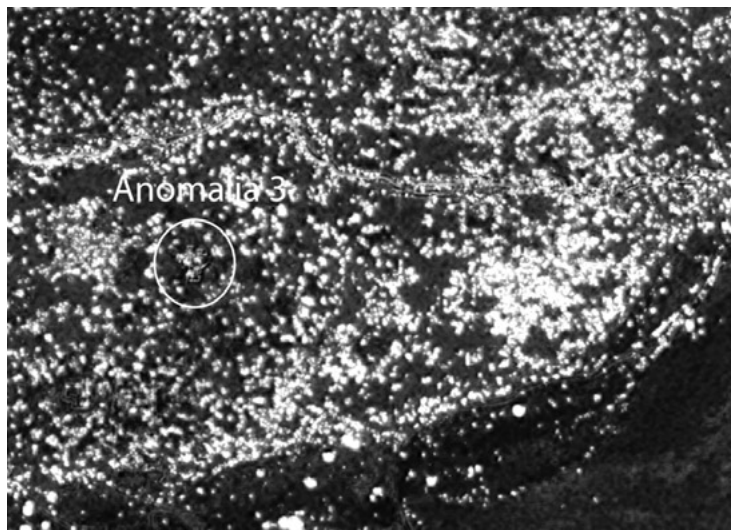


Fig. 8 – Particolare della mappa NDVI in cui risultano particolarmente distinguibili alcuni elementi murari (Anomalia 3), in particolare quelli relativi alle strutture scavate da F. Anfray.

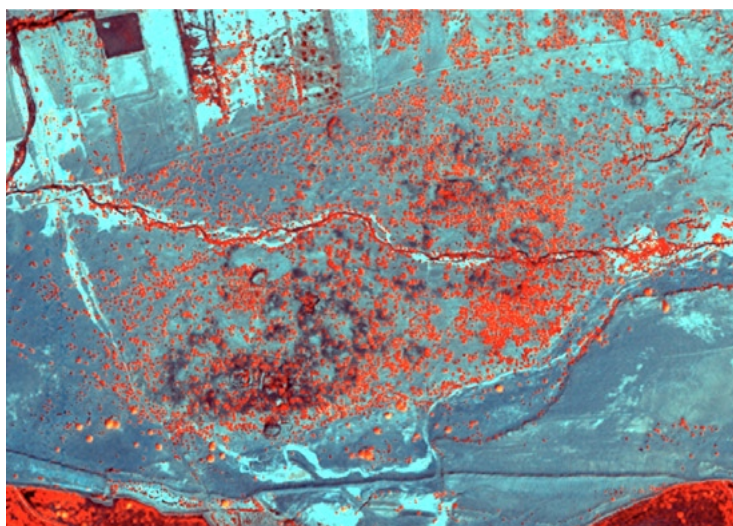


Fig. 9 – Immagine ottenuta dall'assemblaggio dell'immagine pancromatica con la banda del vicino infrarosso e la mappa NDVI: risalta la differenza tra la vegetazione e le Anomalie 2 e 3.

terreno. In senso digitale il DEM è una matrice raster di punti georeferenziati in coordinate a cui corrispondono quote assolute o relative in un sistema spaziale noto (FORTE 2001). I punti sono stati acquisiti a intervalli regolari con infittimenti in corrispondenza di strutture archeologiche o di particolari morfologie della superficie del terreno; in queste aree il passo delle misurazioni è stato variabile tra 1 e 5 m, mentre nelle zone pianeggianti e sgombre da strutture archeologiche il passo è stato tra i 10 e i 15 m. Tale modalità è stata definita sulla base delle dimensioni dell'area da rilevare e del tempo a disposizione.

L'interpolazione dei punti è stata effettuata con il metodo Triangulated Irregular Network (TIN), un metodo di interpolazione particolarmente utilizzato in archeologia (MAROZAS, ZACK 1990; FARINETTI, SIGALOS 2002). Il metodo TIN si basa su una struttura di tipo vettoriale, composta da un dataset di facce triangolari che derivano dai punti di elevazione misurati e disseminati irregolarmente (PEUCKER *et al.* 1978; FORTE 2001). Poiché il DEM così ottenuto presentava una morfologia troppo spigolosa, non corrispondente al paesaggio reale del sito, caratterizzato prevalentemente da forme morbide e piccoli dislivelli, si è deciso di migliorare il modello digitale attraverso alcune operazioni. Innanzitutto, il TIN è stato trasformato nel formato GRID, cioè un raster composto da una griglia rettangolare di valori Z organizzati in righe e colonne, dove le righe corrispondono ai valori dell'asse Y, mentre le colonne ai valori della X. L'intersezione di ogni riga e colonna definisce un nodo della griglia e ogni nodo contiene il valore interpolato della Z nella posizione XY, con il calcolo complessivo (relativo) anche delle aree dove non esistono dati. Nel nostro caso si è scelto di creare un GRID con celle di 0,5 m. Il GRID è stato sottoposto ad un processo di filtraggio, con un filtro-passa-basso, al fine di sfumare la morfologia e renderla più corrispondente alla realtà (Fig. 10). Dal GRID sono poi state elaborate in automatico le curve di livello, con equidistanza pari a 0,5 m.

La sovrapposizione e il confronto tra il DEM, le curve di livello e l'immagine QB hanno, infine, consentito di effettuare alcune correzioni manuali, direttamente sul layer vettoriale delle curve di livello, in particolare in corrispondenza dello wadi che attraversa l'area. Per motivi di difficile accessibilità e di estrema complessità morfologica, infatti, non era stato possibile misurarne completamente le sponde durante il rilievo GPS, demandandone la rappresentazione esatta in fase di elaborazione post-campagna con l'ausilio proprio dell'immagine QB.

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLA TOPOGRAFIA DELLA CITTÀ

I dati raccolti con l'analisi dell'immagine QB e con il rilievo GPS sono stati classificati sulla base di una metodologia di lettura del sito volta a rico-

struire le caratteristiche della città in termini di estensione areale e di suddivisione in settori a differente cronologia e destinazione funzionale. I dati sono stati progressivamente registrati e organizzati in ambiente GIS utilizzando la scheda di Unità Topografica. Nella presente ricerca, l'Unità Topografica (UT) è intesa come unità minima di evidenza archeologica riscontrata sul terreno per verifica autoptica o della quale sia rimasta notizia nella bibliografia e per la quale sia possibile proporre una localizzazione topografica (RICCI 1983; CAMBI, TERRENATO 1994). Nel corso del lavoro sono stati definiti tre tipi differenti di UT, in relazione alle caratteristiche dell'elemento caratterizzante l'UT stessa: crolli di edifici, strutture murarie affioranti in superficie, vecchi scavi archeologici (Fig. 11).

Le UT "crolli di edifici" sono accumuli, con dimensioni e consistenza variabile, di materiale edilizio vario, in prevalenza pietre basaltiche sbazzate o squadrate e lastre di scisto, e sono distribuite in modo relativamente omogeneo in buona parte dell'area indagata. Tra i rari materiali ceramici visibili tra le pietre dei crolli, oltre a frammenti di ceramica di produzione locale, molti sono anche i frammenti di ceramica importata. Tra questi spicca l'elevato numero di frammenti di anfore Ayala/Aksum (PEACOCK, BLUE 2007), inquadrabili tra IV e VII sec. d.C. e particolarmente diffuse, oltre che nel Mar Rosso, in Turchia, India e nel Mediterraneo (TOMBER 2004; SEDOV 2007). Non mancano anche frammenti di anfore Late Roman 1 e 2, entrambe caratteristiche del tardo V e VI sec. d.C., di provenienza turca e cipriota le prime, greca ed egea le seconde (PIERI 2005). Tale materiale, attualmente in corso di studio da parte di S. Massa, è certamente pertinente alle fasi di vita più avanzate dell'insediamento. Al momento non è ancora stata effettuata una ricognizione di superficie completa e sistematica, per la quale era innanzitutto necessario dotarsi di una topografia precisa e dettagliata.

Questa tipologia di UT corrisponde alle anomalie ben visibili nell'immagine QB e nelle sue elaborazioni: si tratta di quelle aree di colore scuro e dai contorni sfumati che erano state digitalizzate come probabili anomalie dovute ad un differente grado di umidità del suolo (Anomalia 2). Si è quindi riscontrato sul terreno che tali anomalie corrispondevano effettivamente a tracce di strutture archeologiche, seppur il colore non fosse legato ad un grado di umidità del suolo differente, ma alla presenza di materiale edilizio in superficie. Si è notato altresì che quasi tutte le aree di crollo erano ben distinguibili già nell'immagine QB e nelle sue elaborazioni.

Le UT "strutture murarie affioranti" sono lacerti di muri visibili sulla superficie del terreno, sia isolati che in giustapposizione tra loro a formare edifici o ambienti articolati. Il materiale archeologico prevalente visibile è quello già descritto nel caso delle UT "crolli di edifici". L'unica precisazione che è possibile fare in relazione alla cronologia riguarda l'individuazione di due differenti tecniche edilizie: una comune alla maggior parte delle strutture individuate e

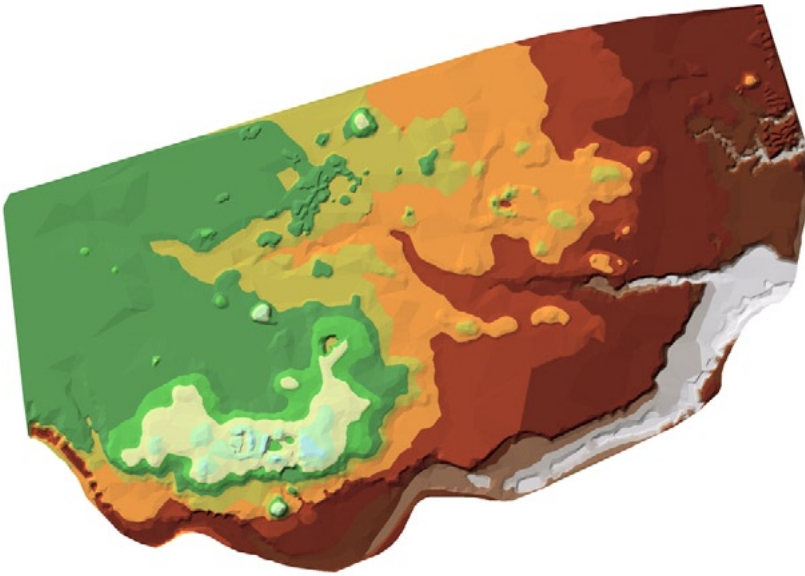


Fig. 10 – Digital Elevation Model del sito.

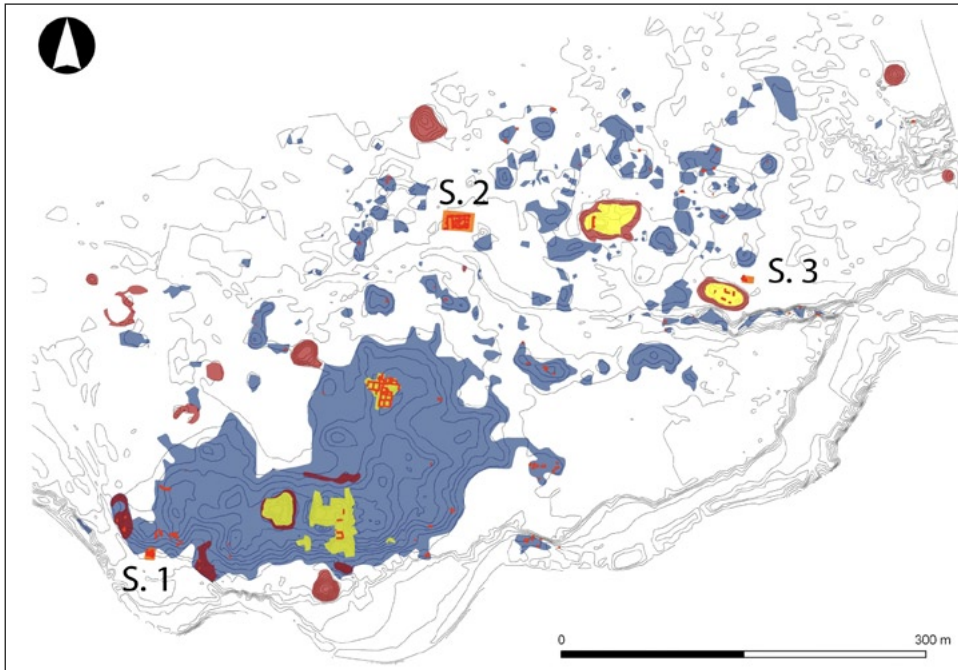


Fig. 11 – Topografia della città: in blu le UT crolli di edifici, in rosso le UT strutture murarie affioranti, in giallo e bordeaux le UT vecchi scavi, in arancione gli attuali settori di scavo.

tipica dell'architettura aksumita, e una seconda che si distingue nettamente dalla prima e che caratterizza soltanto un ristretto numero delle strutture individuate, tra l'altro in un'area circoscritta del sito. Allo stato attuale della ricerca questa distinzione sembrerebbe riferibile non ad una differente destinazione funzionale, quanto ad una distinzione cronologica, cioè le due tecniche sembrerebbero corrispondere a due fasi di vita differenti della città. Nessuna di queste strutture è risultata essere visibile sull'immagine QB, certamente per l'esiguo spessore delle strutture stesse che non è quasi mai superiore ai 60 cm, quindi in contrasto con la risoluzione dell'immagine pancromatica.

Infine, l'ultima UT definita riguarda i "vecchi scavi", alcuni dei quali visibili in quanto ancora aperti, seppur abbandonati, altri non più visibili e localizzati grazie all'individuazione di cumuli di terre di risulta e all'analisi delle vecchie topografie. Il posizionamento dei vecchi scavi ci permetterà, nel prosieguo del lavoro, di georeferenziare le informazioni archeologiche desumibili dalle vecchie relazioni di scavo e di inquadrare cronologicamente il sito in macro-aree. È interessante segnalare che per la prima volta sono stati posizionati tutti i vecchi scavi compiuti nel sito e noti dalla bibliografia. Alcune di queste strutture erano già visibili nell'immagine QB; in particolare si è visto che le strutture evidenziate nella mappa NDVI erano pertinenti al quartiere messo in luce da F. Anfray (Anomalia 3). Un aspetto interessante è che una delle strutture murarie visibili nell'immagine QB, dopo aver applicato un decorrelation stretching, non è oggi più visibile (Anomalia 1). L'immagine ci restituisce, quindi, la prova di un elemento che altrimenti sarebbe andato scomparso e che, tra l'altro, è risultato molto utile per il posizionamento dello scavo di R. Sundrström.

Le prime due tipologie di UT sono state utili per definire l'estensione minima della città, intesa nel suo aspetto diacronico. Considerando un nucleo urbano come un tessuto insediativo relativamente continuo è possibile ipotizzarne l'estensione minima prendendo come limite i rinvenimenti strutturali di tipo urbano relativamente più marginali e supponendo che all'interno di tale margine si sviluppasse la città senza una sensibile soluzione di continuità. Le prime due classi consentono quindi di delimitare un'area caratterizzata da un elevato numero di strutture murarie e dove i resti della città sono ben visibili. La terza classe ha permesso di integrare i dati relativi alle strutture visibili con quelli relativi alle strutture note dai vecchi scavi, spesso non più visibili in quanto nuovamente ricoperte da depositi alluvionali, e che concorrono a meglio definire l'estensione dell'area urbana. Nel corso delle attività di scavo, infatti, si è notato che le aree marginali rispetto alla concentrazione dei crolli risultano apparentemente sgombre da strutture, ma in certi casi conservano strutture archeologiche ad una certa profondità. Il settore di scavo 3, con alcune strutture sepolte oltre i 2 m di profondità, ne è l'esempio principale.

Al termine del lavoro è stata riconosciuta come nucleo urbano un'area di almeno 23 ettari di estensione. Gli elementi archeologici censiti, tuttavia, non

consentono una ricostruzione articolata del tessuto urbano (basti ricordare che nessuna strada è stata finora riportata alla luce), ma al momento è possibile solamente una prima identificazione di alcune macro-aree con caratteristiche omogenee dal punto di vista tipologico-strutturale o cronologico (Fig. 12).

Nella porzione sud-occidentale della città, in corrispondenza della zona più elevata, si trova la parte più consistente delle UT “crolli di edifici”, con ogni probabilità poiché questa parte non è stata in passato interessata dalle alluvioni che hanno invece colpito le zone più basse circostanti, ricoprendo totalmente o in parte molte strutture. In questa porzione della città, lungo una parete del wadi meridionale e nello scavo del Settore 1, sono stati individuati resti di muri caratterizzati da una tecnica edilizia che si discosta visibilmente da quella impiegata in tutte le altre strutture della città attualmente visibili: si tratta di strutture di spessore particolarmente elevato, fino ad 1 m, e costruite prevalentemente con grandi ciottoli e grandi massi irregolari di basalto. Nel Settore 1 i muri realizzati con questa tecnica edilizia sono pertinenti alle fasi di vita più antiche finora individuate nei settori di scavo, sicuramente precedenti al III-IV sec. d.C. (ZAZZARO, MANZO 2012). Inoltre, proprio in quest’area, e poco lontano da dove è stato aperto il Settore 1, si trovava la trincea dove R. Paribeni individuò a quasi 10 m di profondità quelle che aveva considerato le fasi più antiche della città.

Nelle fasi di vita più avanzate, in un periodo databile tra IV e VII sec. d.C. sulla base dei dati stratigrafici raccolti finora, è possibile distinguere un’area a vocazione religiosa o culturale nella porzione orientale della città, nella quale si trovano le strutture scavate da W.W. Goodfellow e da R. Paribeni tra XIX e XX secolo e interpretate come chiese (HOLLAND, HOZIER 1870; PARIBENI 1907)⁴. In quest’area è da ricordare anche la presenza del grande edificio scavato solo parzialmente da R. Sundström, che lo interpretò come un grande “palazzo” (SUNDSTRÖM 1907). Nello stesso periodo, la porzione occidentale della città sembra, invece, caratterizzata da strutture più modeste, di carattere residenziale o abitativo, come quelle scavate dallo stesso R. Paribeni e da F. Anfray (PARIBENI 1907; ANFRAY 1963, 1966). Tale articolazione in aree a differente destinazione funzionale è stata riscontrata anche a Matara, uno tra i centri aksumiti più noti sull’altopiano eritreo, con il quale Adulis ha in comune anche la dimensione: 20 ettari a Matara, 23 ettari ad Adulis. Anche a Matara il settore orientale era caratterizzato da una concentrazione di palazzi d’élite e chiese, mentre il settore occidentale si caratterizzava per la presenza di quartieri abitativi (FATTOVICH 1999).

Grazie a queste prime ricerche si sta delineando sempre meglio la fisionomia dell’antica Adulis, sia dal punto di vista strutturale, evidenziando la presenza di aree a differente destinazione funzionale, sia dal punto di vista cronologico, evidenziando fasi costruttive diverse. L’obiettivo principale delle

⁴ La seconda di queste è attualmente inclusa all’interno del Settore di scavo 2.

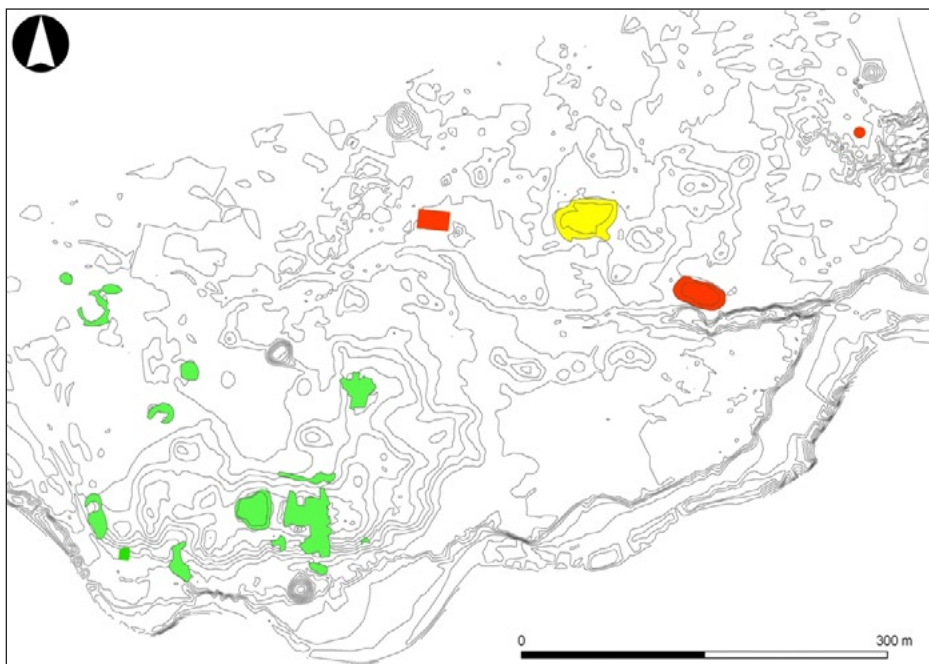


Fig. 12 – Topografia della città con identificazione di macro-aree funzionali: in verde le aree con strutture a carattere residenziale; in arancione le aree con strutture religiose; in giallo il palazzo scavato da R. Sundström.

prossime indagini sarà di mettere finalmente in luce una sequenza stratigrafica completa, dalle fasi più antiche dell'insediamento sino all'abbandono della città, e di realizzare una ricognizione completa del sito per tentare di articolare meglio l'organizzazione interna del nucleo urbano.

GIULIO BIGLIARDI, SARA CAPPELLI

Laboratorio di GeoTecnologie per l'Archeologia, Centro di GeoTecnologie
Università degli Studi di Siena

ENZO COCCA

Dipartimento di Africa, Asia e Mediterraneo
Università "L'Orientale" di Napoli

BIBLIOGRAFIA

ALVISI G. 1989, *La fotografia aerea nell'indagine archeologica*, Roma, La Nuova Italia Scientifica.

ANFRAY F. 1963, *La première campagne de fouilles à Matarā près de Sénafé*, «Annales d'Éthiopie», 5, 87-166.

- ANFRAY F. 1966, *La poterie de Matarā: Esquisse typologique*, «Rassegna di Studi Etiopici», 22, 5-74.
- ANFRAY F. 1974, *Deux villes axoumites: Adoulis et Matara*, in *Atti del IV Congresso Internazionale di Studi Etiopici*, Roma, Accademia Nazionale dei Lincei, 745-765.
- BENT J.T. 1896, *The Sacred City of the Ethiopians. Being a Record of Travel and Research in Abyssinia in 1893*, London, Longmans, Green.
- BIGLIARDI G., CAPPELLI S., COCCA E. 2013, *Il sito di Adulis (Eritrea). Raccolta e gestione dei dati archeologici tramite software Open Source*, in M. SERLORENZI (ed.), *ARCHEOFOSS. Free, Libre and Open Source Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica*, *Atti del VII Workshop (Roma 2012)*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 4, 222-227.
- CAMBI F., TERRENATO N. 1994, *Introduzione all'archeologia dei paesaggi*, Roma, Carocci.
- CAMPANA S., FORTE M. (eds.) 2001, *Remote Sensing in Archaeology. XI Ciclo di Lezioni sulla Ricerca applicata in Archeologia (Certosa di Pontignano 1999)*, Quaderni del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti - Università di Siena, 51-52, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- CAMPANA S., PRANZINI E. 2001, *Il telerilevamento in archeologia*, in CAMPANA, FORTE 2001, 17-62.
- CASANA J., COTHREN J. 2008, *Stereo analysis, DEM extraction and orthorectification of CORONA satellite imagery: Archaeological applications from the Near East*, «Antiquity», 82, 732-749.
- CHAVEZ P.S. JR., SIDES S.C., ANDERSON J.A. 1991, *Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic*, «Photogrammetric Engineering & Remote Sensing», 57, 3, 295-303.
- CRAWFORD O.G.S. 1929, *Air Photography for Archaeologists*, Ordnance Survey Professional Papers, New Series, 12, London.
- DASSIE J. 1978, *Manuel d'archéologie aérienne*, Paris, Éditions TECHNIP.
- DE LAET V., PAULISSEN E., WAELEKENS M. 2007, *Methods for the extraction of archaeological features from very high resolution Ikonos-2 remote sensing imagery, Hisar (southwest Turkey)*, «Journal of Archaeological Science», 34, 830-841.
- FARINETTI E., SIGALOS L. 2002, *Detailed topography and surface survey. What is the point? Tanagra City Survey 2000*, in G. BURENHULT (ed.), *Archaeological Informatics: Pushing the Envelope CAA 2001 – Gotland*, BAR International Series 1016, Oxford, Archaeopress, 385-391.
- FATTOVICH R. 1999, *The development of urbanism in the northern Horn of Africa in ancient and medieval times*, in P. SINCLAIR (ed.), *The Development of Urbanism in Africa from a Global Perspective*, Uppsala, Uppsala Universitet (<http://www.arkeologi.uu.se/>).
- FATTOVICH R. 2010, *The development of ancient states in the northern Horn of Africa, c. 3000 BC-AD 1000: An archaeological outline*, «Journal of World Prehistory», 23, 145-175.
- FATTOVICH R. 2012, *Egypt's trade with Punt: New discoveries on the Red Sea coast*, «British Museum Studies in Ancient Egypt and Sudan», 18, 1-59.
- FORTE M. 2001, *Telerilevamento e paesaggi archeologici tradizionali*, in CAMPANA, FORTE 2001, 95-142.
- GARRISON T., HOUSTON S.T., GOLDEN C., INOMATA T., NELSON Z., MUNSON J. 2008, *Evaluating the use of IKONOS satellite imagery in lowland Maya settlement archaeology*, «Journal of Archaeological Science», 35, 2770-2777.
- GILLESPIE A.R., KAHLE A.B., WALKER R.E. 1986, *Color enhancement of highly correlated images. Decorrelation and HSI contrast stretches*, «Remote Sensing of Environment», 20, 209-235.
- HOLLAND T.J., HOZIER H.M. 1870, *Record of the Expedition to Abyssinia*, II, London, H.M. Stationery Off, 398-399.

- LASAPONARA R., MASINI N. 2005, *Quickbird-based analysis for the spatial characterization of archaeological sites: Case study of the Monte Serico Medioeval village*, «Geophysical Research Letter», 32, 12, L12313.
- LASAPONARA R., MASINI N. 2006, *Identification of archaeological buried remains based on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from Quickbird satellite data*, «IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters», 3, 3, 325-328.
- LASAPONARA R., MASINI N. 2012, *Satellite Remote Sensing. A New Tool for Archaeology*, Berlin-Heidelberg, Springer.
- LEFEBVRE T. 1845, *Voyage en Abyssinie exécuté pendant les années 1839,40,41,42*, Paris.
- LILLESAND T.M., KIEFER R.W. 2000, *Remote Sensing and Image Interpretation*, New York, John Wiley & Sons.
- MANDOLESI L. 2009, *Pyarchinit - Python, Qgis e PostgresSQL per la gestione dei dati di scavo*, in P. CIGNONI, A. PALOMBINI, S. PESCARIN (eds.), *ArcheoFOSS Open Source, Free Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica, Atti del IV Workshop (Roma 2009)*, «Archeologia e Calcolatori», 20, Suppl. 2, 209-222.
- MANZO A. 2010, *Exotic ceramic materials from Mersa Gawasis, Red Sea, Egypt*, in W. GODLEWSKI, A. ŁATJAR (eds.), *Between the Cataracts: Proceedings of the 11th Conference of Nubian Studies*, Polish Archaeology in the Mediterranean Supplement Series, 2.2, Warsaw, Warsaw University Press, 439-453.
- MANZO A. 2012, *Nubians and the others on the Red Sea: An update on the exotic ceramic materials from the Middle Kingdom harbour of Mersa/Wadi Gawasis, Red Sea, Egypt*, in D.A. AGIUS, J.P. COOPER, C. ZAZZARO, A. TRAKADAS (eds.), *Navigated spaces, connected places: Proceedings of the Red Sea Project V, held in the University of Exeter (September 2010)*, Society for Arabian Studies Monographs, 12, BAR International Series 2346, Oxford, Archaeopress.
- MAROZAS B.A., ZACK J.A. 1990, *GIS and archaeological site location*, in K.M.S. ALLEN, S.W. GREEN, E.B.W. ZUBROW (eds.), *Interpreting Space: GIS and Archaeology*, London, Taylor and Francis, 165-172.
- MUNRO-HAY S. 1982, *The foreign trade of the Aksumite port of Adulis*, «Azania», 17, 107-125.
- MUNRO-HAY S. 1989, *The British Museum Excavations at Adulis, 1868*, «Antiquaries Journal», 69, 43-52.
- MUNRO-HAY S. 1991a, *Aksumite overseas interests*, «Northeast African Studies», 13, 2-3, 127-140.
- MUNRO-HAY S. 1991b, *Aksum. An African Civilization of Late Antiquity*, Edinburgh, University Press.
- NIKOLAKOPOULOS K.G. 2008, *Comparison of nine fusion techniques for very high resolution data*, «Photogrammetric Engineering & Remote Sensing», 74, 5, 647-659.
- PARCAK S.H. 2009, *Satellite Remote Sensing for Archaeology*, New York, Routledge.
- PARIBENI R. 1907, *Ricerche sul luogo dell'antica Adulis (Colonia Eritrea)*, «Monumenti Antichi dei Lincei», 18, 29-572.
- PEACOCK D.P.S., BLUE L. 2007, *The Ancient Red Sea Port of Adulis, Eritrea*, Oxford, Oxbow Books.
- PEUCKER T.K., FOWLER R.J., LITTLE J.J., MARK D.M. 1978, *The triangulated irregular network*, in *Symposium on Digital Terrain Models*, St. Louis, American Society of Photogrammetry, 516-540.
- PHILLIPSON D.W. 1997, *The Monuments of Aksum. An Illustrated Account*, Addis Ababa, University Press.
- PICCARRETA F., CERAUDO G. 2000, *Manuale di areofotografia archeologica. Metodologia, tecniche e applicazioni*, Bari, Edipuglia.
- PIERI D. 2005, *Le commerce du vin orientale à l'époque Byzantine (V-VII siècle). Le témoignage des amphores en Gaule*, Paris, Institut Français du Proche-Orient, Beyruth.

- RICCI A. 1983, *La documentazione scritta nella ricerca archeologica sul territorio: un nuovo sistema di schedatura*, «Archeologia Medievale», 10, 495-506.
- ROSS S.A., SOBOTKOVA A., BURGERS G.J. 2009, *Remote Sensing and archaeological prospection in Apulia, Italy*, «Journal of Field Archaeology», 34, 4, 423-437.
- SALT H. 1814, *A Voyage to Abyssinia and Travels into the Interior of that Country*, London.
- SCOLLAR I., TABBAGH A., HESSE A., HERZOG I. 1990, *Archaeological Prospection and Remote Sensing*, New York, Cambridge, Cambridge University Press.
- SEDOV A. 2007, *The port of Qana' and the incense trade*, in D. PEACOCK, D. WILLIAMS (eds.), *Food for the Gods: New Light on the Ancient Incense Trade*, Oxford, Oxbow, 72-108.
- SUNDSTRÖM R. 1907, *Report of an expedition to Adulis*, in *Preliminary report of the Princeton University Expedition to Abyssinia* by E. Littmann, «Zeitschrift für Assyriologie und verwandte Gebiete», 20, 172-182.
- TOMBER R. 2004, *Amphorae from the Red Sea and their contribution to the interpretation of Late Roman trade beyond the Empire*, in J. EIRING, J. LUND (eds.), *Transport Amphorae and Trade in the Eastern Mediterranean*, Monographs of the Danish Institute at Athens, 5, Aarhus, Aarhus University Press, 393-402.
- TRIER Ø.D., LARSEN S.O., SOLBERG R. 2009, *Automatic detection of circular structures in high resolution satellite imagery of agricultural land*, «Archaeological Prospection», 16, 1-15.
- TUCKER C. 1979, *Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation*, «Remote Sensing of the Environment», 8, 127-150.
- WILSON D.R. 1982, *Air Photo Interpretation for Archaeologists*, London, Batsford.
- ZAZZARO C. 2009, *Adulis and the Eritrean coast in museum collections and Italian and other European travellers' accounts*, in L. BLUE, J. COOPER, R. THOMAS, J. WHITEWRIGHT (eds.), *Connected Hinterlands: Proceedings of Red Sea Project IV held at the University of Southampton (September 2008)*, Society for Arabian Studies Monographs, 8, BAR International Series, 2052, Oxford, Archaeopress, 49-59.
- ZAZZARO C., MANZO A. 2012, *A preliminary assessment on the pottery assemblage from the port town of Adulis (Eritrea) (in collaboration with Ghirmay Teklemariam, Mehretab Tabo Sium, Thomas Tesfagiorgis Paulos)*, «British Museum Studies in Ancient Egypt and Sudan», 18, 233-246.
- ZHANG Y. 2004, *Understanding image fusion* «Photogrammetric Engineering & Remote Sensing», 70, 6, 657-661.

ABSTRACT

The Adulis Project started in 2011, directed by the Ce.RDO in collaboration with the Centre for GeoTechnologies of the University of Siena and the National Museum of Eritrea. The project aims to investigate and promote the cultural heritage of the ancient port site of Adulis, one of the most important archaeological sites in Eritrea and East Africa. The paper presents the results of the first two campaigns. First of all, we analyzed the satellite imagery to identify traces of buried archaeological elements. Then, three excavation areas were opened to unearth some of the structures already identified in the excavations of the last century, as well as to investigate the stratigraphy of the site in areas where archaeological excavations have never been conducted. In conclusion, a GPS survey was conducted on the whole area to elaborate a detailed map of the site, to create a DEM and to position all the archaeological structures that are visible on the surface. All the stratigraphic, topographic and cartographic data were managed in an open source GIS, based on the combination of the desktop mapping software Quantum GIS and the plugin pyArchInit.