

Strumenti per una cartografia 'attiva': il *balloon mapping*. Limiti e potenzialità in un progetto di ricerca a Trieste

Tools for an active cartography: the balloon mapping. First results in a research at Trieste (North-Eastern of Italy)

GIOVANNI MAURO*

Riassunto

La tecnologia *Balloon Mapping* è una metodologia di fotogrammetria aerea che permette di acquisire immagini remote da pallone aerostatico. In un progetto di ricerca del Dipartimento di Studi Umanistici dell'Università di Trieste si intendono valutare potenzialità e limiti di questa tecnologia in un mercato che vede ormai predominare l'utilizzo degli aeromobili a pilotaggio remoto, più comunemente noti come droni. Filo leggero ad elevata resistenza alla trazione e una comune macchina fotografica digitale dotata di GPS, vincolata con un montante al pallone aerostatico ad elio, sono le semplici componenti del vettore utilizzato per acquisire le immagini. Una volta selezionate quelle con minore distorsione geometrica, le stesse vengono 'georiferite' utilizzando una piattaforma *online* per la mosaicatura di immagini: 'Map Knitter'. La carta ad elevatissima risoluzione spaziale relativa ad un sito archeologico del Carso triestino è stata successivamente analizzata con il *software* MapAnalyst per definirne gli 'errori interni' (distorsione e rotazione). Costo del gas elio, distorsioni delle immagini, impossibilità di utilizzare il vettore in condizioni di vento minime o in prossimità di elettrodotti sono alcuni dei limiti più rilevanti della tecnologia che, però, apre potenzialità per il monitoraggio in continuo su un periodo di tempo più lungo (ad esempio, una giornata) di spazi geografici come piazze, aree inquinate, siti archeologici lagunari, ecc.

Parole chiave

Balloon Mapping, Map Knitter, MapAnalyst, Trieste, Cartografia, GIS, Telerilevamento

Abstract

Low-cost aerial imaging techniques, using balloons and kite to give us detailed and updated maps, represents a new opportunity in the archeological studies. In a research project of the Department of Humanistic Studies (University of Trieste), we intend to test its limits and possibilities. The Trieste Karst (north-eastern of Italy) is rich in Bronze Age-Iron hill forts, locally called castellieri. In this paper we analyze a map regarding the castelliere of Monte d'Oro (Caresana, close to the city of Trieste), the first results of this research. Combining in Map Knitter (an open source software created by Public Lab) the high resolution images acquired by a simple plastic balloon (inflated with helium gas), we obtained the map now available on <http://mapknitter.org/maps/sito-archeo-caresana>. In order to understand its distortion degree, we used MapAnalyst (a software for the accuracy analysis of old maps) that confirms problems in overlapping too much small images. Height too low of the balloon, resulting images too small, cost of the helium and wind conditions represent the main limits of this research, but new opportunities are giving by the potential long time (a day) of the balloon's flight.

Keywords

Balloon Mapping, Map Knitter, MapAnalyst, Trieste, Cartography, GIS, Remote Sensing

* Dipartimento di Studi Umanistici – Università degli Studi di Trieste

1. Introduzione

L'acquisizione di immagini da remoto mediante l'utilizzo di palloni aerostatici non è certamente una modalità innovativa per il rilievo fotogrammetrico. Già verso il 1858 un fotografo francese, Felix Tournachon, fece le prime riprese 'aeree' di Parigi e nel 1862 il generale dell'esercito unionista americano McClellan usò i palloni per osservare le posizioni e i movimenti dell'esercito nemico. Ci si avvaleva di 'palloni frenati', ossia aerostati con a bordo gli operatori, oppure automatici, trattenuti da cavi e fermati a meno di 500 metri di quota (Jensen, 2000). Di recente l'utilizzo dei palloni aerostatici ha trovato le più diverse utilizzazioni: dal *Project Loon* di Google per la messa in orbita di 'palloni ponte' con lo scopo di diffondere i servizi della rete anche nelle aree più remote del pianeta (Levy, 2013), ai palloni spia utilizzati dalle forze di difesa di Israele per monitorare in continuo aree definite 'sensibili' (Raz, 2013).

Nel 2012 un gruppo di ricerca afferente al Dipartimento di Studi Umanistici dell'Università di Trieste ha proposto una rilettura in chiave moderna di questa tecnologia. La disponibilità a prezzi estremamente concorrenziali di macchine fotografiche digitali dotate di strumentazione GPS e una comunità per la realizzazione di cartografia 'open' molto attiva hanno indotto gli autori a proporre un progetto per l'utilizzo del *Balloon Mapping* (BM). Lo scopo è testare una metodologia utile alla mappatura di dettaglio per alcuni siti archeologici presenti in regione Friuli Venezia Giulia. Moltissimi sono ormai gli esempi di indagini in ambito GIS che riguardano l'archeologia anche con applicazioni molto promettenti per il futuro (e.g. Ceraudo e Boschi, 2009; Bernardini *et al.*, 2013). Poter monitorare queste aree studio senza essere vincolati a sensori aviotrasportati (come nel caso di MIVIS), con una maggiore 'flessibilità' (ad esempio, subito dopo eventi meteorici piovosi per evidenziare strutture sotterranee) ed una presunta economicità del sistema sono state le variabili che hanno convinto un gruppo di geografi ed archeologi a promuovere questa ricerca¹.

Il contributo presenta, in estrema sintesi, il principale obiettivo della prima fase del progetto, ossia definire limiti e potenzialità della tecnologia BM. Dopo aver illustrato attività e strumenti di una comunità geografica presente in rete che si occupa di queste tematiche (la Grassroot mapping, afferente all'eterogeneo universo del Public Lab), viene presentata la prima carta di un sito archeologico della Provincia di Trieste (il castelliere di Monte d'Oro). Successivamente, l'analisi dell'accuratezza di questa mappa è stata fatta con MapAnayst, un programma *open source* per l'analisi cartometrica delle carte storiche. Anche in funzione di questi risultati, vengono evidenziate le difficoltà collegabili alle condizioni meteo, all'area studio, ai costi e alla tecnica di ripresa intrinseche a questa metodologia, emerse fin dalle prime uscite sul campo. Tuttavia sono proprio queste prime difficoltà che hanno aperto la strada a possibili sviluppi futuri per un utilizzo 'alternativo' della tecnologia BM.

2. Cartografia 2.0 e Balloon Mapping: una open community geografica

La massiva diffusione di *smartphone* e dispositivi palmari in grado di implementare l'informazione geografica e di renderla usufruibile in modo quasi ubiquitario è solo l'ultima, ma forse la più affascinante, opportunità offerta dalle nuove tecnologie informatiche per una 'riscoperta' della Geografia e della Cartografia. Facilità di implementazione dei dati su basi cartografiche messe a disposizione dei principali operatori del mercato (*Google Maps* per Google, *Bing Maps* per Microsoft, ad esempio), creazione ed aggiornamento delle carte tematiche in tempo reale, consultazione eseguita da un numero di persone impensabile fino a pochi anni fa sono alcuni degli aspetti che rendono il contesto della cartografia collegata al *Web2.0* – la Cartografia 2.0 – nel contempo interessante ma anche articolato e, per certi versi, problematico (Gartner, 2009; Mauro, 2013). Com'è noto, numerose sono le iniziative nate in rete per la diffusione di una vera e propria 'cultura cartografica'. Geocommons, Ikimap e Geopaparazzi², ad esempio, sono

¹ Il progetto è stato finanziato con i Fondi per la Ricerca di Ateneo 2012 dell'Università degli Studi di Trieste.

² I siti di riferimento per queste tre iniziative sono i seguenti: <http://geocommons.com/> per Geocommons, <http://www.ikimap.com/>

veri e propri strumenti di analisi spaziale per la condivisione di dati in rete; gli utenti registrati possono contribuire realizzando *on-line* cartografie tematiche da rendere pubbliche. Altro esempio, forse attualmente il più noto, è sicuramente il progetto OpenStreetMap (Bennet, 2010): in questo caso, una comunità internazionale di oltre un milione e mezzo di utenti è impegnata nella costruzione e nell'aggiornamento di una vera e propria cartografia 'libera', ossia disponibile e modificabile da tutti gli utenti iscritti.

È in questo contesto che si inserisce l'attività della Grassroot mapping, un gruppo di attivisti (ricercatori, educatori, tecnici) che dal 2010 raccoglie e pubblica cartografia *raster* ad elevata risoluzione spaziale realizzata con strumenti come palloni aerostatici (tecnologia BM) o aquiloni modificati (*Kite Mapping*). Nata inizialmente per monitorare le fuoriuscite delle piattaforme petrolifere presenti nel Golfo del Messico, essa si pone da sempre come obiettivo prioritario quello di diffondere l'educazione alla cartografia. Nell'ambito dell'aerofotogrammetria di precisione, le attività di questo gruppo di lavoro rappresentano ancora una valida alternativa per la realizzazione di cartografia *raster* nei contesti territoriali dove tuttora predomina, qualora esista, l'informazione geografica analogica, come nei Paesi in via di sviluppo (Seag e Mund, 2006; Warren, 2010; Lorenz e Scheidt, 2014).

Confluita in un secondo tempo nella comunità più eterogenea del Public Lab³, «una comunità internazionale che sviluppa e applica strumenti di tipo *open source* per indagini ed esplorazioni ambientali», essa è attualmente una delle sue componenti più attive, in grado di fornire agli internauti le istruzioni e gli strumenti operativi per creare carte a costo ridotto. In un'ottica di autofinanziamento del progetto (propria del *crowdfunding*), l'utente può acquistare ad un prezzo abbastanza contenuto (85 Dollari statunitensi) il '*Balloon Mapping Kit*', un equipaggiamento completo di pallone, verricello, fili e moschettoni per effettuare riprese fotografiche con un pallone frenato.

com/ per Ikimap, <http://geopaparazzi.github.io/geopaparazzi/> per Geopaparazzi.

³ Il sito ufficiale dell'iniziativa è: <http://publiclab.org>. Public Lab è sintesi di '*Public Laboratory for Open Technology and Science*'.

2.1 Gli strumenti messi a disposizione degli utenti: *Map Mill* e *Map Knitter*

La comunità Public Lab mette a disposizione degli utenti che vogliono partecipare un set di strumenti per condurre esperimenti sul campo (equipaggiamento per il BM, fotocamera ad infrarosso, spettrometri per indagini ambientali, ecc.), ma anche programmi gratuiti e open source utilizzabili direttamente in modalità cloud computing. Tra questi, ci sono due software per il 'post-processamento' delle immagini: *Map Mill* (<http://mapmill.org/>) e *Map Knitter* (<http://mapknitter.org/>).

Il primo è un *software* utile per scegliere le fotografie raccolte dal vettore con minore distorsione geometrica e buona illuminazione (vengono scartate le immagini sovraesposte o sottoesposte). In funzione del grado di distorsione e dell'esposizione, le immagini vengono classificate come 'molto buone', 'appena sufficienti' e 'non utili'.

Il secondo programma è una vera e propria piattaforma *online* che permette di sovrapporre le immagini alla cartografia *raster* dei portali cartografici più diffusi. L'utente registrato a *Map Knitter* deve inizialmente creare un progetto, cui associare un nome e un'area geografica di riferimento. Prima di importare le immagini che ritiene utili alla creazione della mappa, l'operatore deve selezionare la cartografia che utilizzerà come riferimento per posizionare le proprie fotografie, ossia quella dei più comuni portali cartografici come *OpenStreetMap*, *Google Satellite* o *Bing Aerial*. Una volta inserite le foto, l'utente deve dapprima ridimensionarle sulla base della cartografia di riferimento e orientarle correttamente. Quindi, può distorcere l'immagine di partenza per fare coincidere i punti identificati come comuni tra immagini fotografiche e cartografia di riferimento: tuttavia minore è il grado di distorsione introdotto dall'utente, migliore è il risultato finale.

Una volta posizionate il più esattamente possibile le immagini, l'utente può mosaicarle scegliendo la risoluzione spaziale più opportuna in rapporto alla qualità e al relativo 'peso informatico' della carta finale; all'operatore non è dato scegliere l'algoritmo di mosaicatura. Il risultato è una cartografia *raster* da esportare nel formato che si preferisce: GeoTIFF, Kmz, Openlayers/TMS, ecc.. L'utente può anche decidere di rendere pubblico il

FIGURA 1 – Programmi e dati a disposizione degli utenti del Public Lab

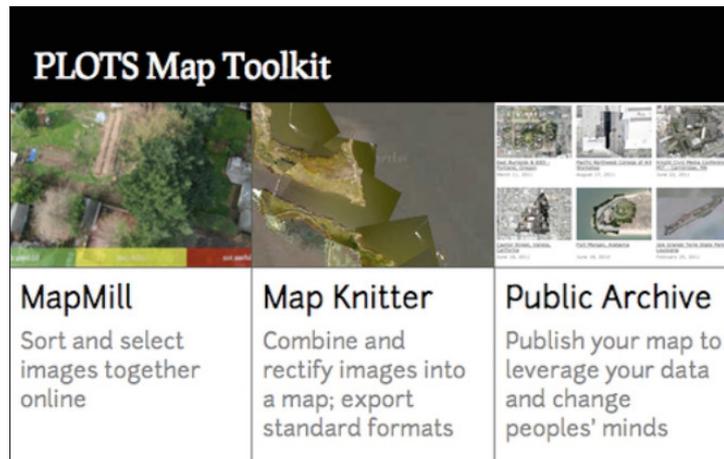


FIGURA 2 – Localizzazione del Castelliere di Monte d'Oro (sullo sfondo la cartografia di Bing Maps)



FIGURA 3 – Il pallone aerostatico (in alto al centro della foto) in azione sul sito del castelliere di Monte d'Oro, presso Caresana (San Dorligo della Valle, Trieste)



risultato: la singola elaborazione *raster* viene pubblicata su un sito dedicato cui l'operatore può accedere anche in un secondo momento per eventuali modifiche. Attualmente (giugno 2014) il server di *MapKnitter* ospita oltre 1.100 cartografie di tipo *raster* con risoluzione spaziale media pari a circa 31 cm/pixel.

3. L'area oggetto di studio e gli strumenti in dotazione

L'Altopiano carsico è costellato di molti siti che testimoniano la presenza stanziale dell'uomo sin dall'epoca preistorica in quanto particolarmente ricco di ambienti naturali di riparo (ad esempio, le grotte). In tale contesto, le testimonianze più importanti, riferibili all'epoca del bronzo, sono sicuramente i castellieri, villaggi fortificati con cinte di mura in pietra posti sulla cima dei rilievi e delle alture carsiche. Essi costituivano probabilmente un unico articolato sistema complesso di abitati fortificati sulle alture del Carso, protrattosi per un esteso arco temporale (Antonelli et al., 2004; Bandelli e Montagnari, 2005; Marchesetti, 1903).

Il sito prescelto, il castelliere di Monte d'Oro, si trova presso Caresana, frazione di San Dorligo della Valle nella parte meridionale della Provincia di Trieste e a poco più di un chilometro dal confine con la Slovenia (figura 2). Si tratta dei resti di un abitato protostorico difeso da un'unica cinta di forma ellittica, con uno sviluppo di circa 300 metri che si presentava particolarmente robusta e ben sviluppata in altezza in corrispondenza del versante nord-orientale⁴ (Marchesetti, *op. cit.*). Su questo sito, dal profilo altimetrico sostanzialmente uniforme, sono conservate attualmente solo tracce residue del castelliere in un'area in cui i prati si alternano ad aree coltivate ad olivo e circondate dal classico bosco carsico (figura 3).

L'equipaggiamento per le prime indagini sul campo è un vettore costituito da un pallone aerostatico di tipo frenato, gonfiato ad elio, sul quale viene montata tramite staffa una macchina fotografica digitale.

Il pallone, di volume pari a circa 2,5m³, è a doppio involucro per garantire maggiore resistenza agli urti e

all'irraggiamento solare. Il pallone interno è costituito da lattice naturale, biodegradabile, leggero ed estremamente elastico, mentre quello esterno è fatto in *nylon* (figura 3).

Il filo deve essere particolarmente resistente alla trazione. Proprio per questo è stato scelto il 'trecciato Dyneema', un filo costituito da una fibra sintetica leggera e particolarmente adatta alla trazione (carico di rottura stimato: 200 kg), comunemente utilizzato da chi pratica alpinismo, pesca sportiva o parapendio. Per stabilizzare il sistema (e per sicurezza), il pallone aerostatico è agganciato con due fili lunghi circa 65 m ciascuno; in questo modo uno fa da 'sicura', nel caso di rottura dell'altro. I fili vengono rilasciati o ritirati durante le operazioni di ripresa fotografica mediante verricello e/o avvolgicavo.

La macchina digitale prescelta è la WG3 della Pentax, particolarmente resistente agli urti, dotata di GPS e altimetro. Mediante intervallometro, essa è in grado di acquisire immagini 'in continuo', secondo un intervallo temporale predefinito dagli operatori (nel presente caso, 10 o 20 secondi). Le sue dimensioni sono alquanto ridotte, come il suo peso (230g). Le immagini fotografiche ad alta definizione hanno una risoluzione di circa 16 MPixel e l'obiettivo ha un grandangolo di 25 mm e uno zoom ottico 4X. Come già accennato, la macchina fotografica è assicurata al pallone mediante una staffa flessibile.

4. I primi risultati con *Map Knitter*

Nel corso dell'uscita presso il Castelliere di Monte d'Oro, svolta in condizioni meteo ideali (una giornata di inizio primavera, soleggiata con ottima visibilità e con minime condizioni di ventosità), sono state acquisite più di trecentocinquanta immagini da un'altezza massima di circa 45-50 m. In una prima fase sono state selezionate circa quarantacinque foto, di cui solo un terzo utilizzate nella successiva mosaicatura con *Map Knitter*. Come cartografia di riferimento per il posizionamento delle singole immagini è stata scelta quella di *Bing Aerial*.

Numerose sono state le difficoltà in questa fase: siccome l'area coperta dalle singole fotografie è mediamente molto ridotta (circa 2.500 m²) e visto che mancano

⁴ L'altezza della cinta muraria era di circa 4-5 m, mentre la sua larghezza di 15 m (Marchesetti, 1903).

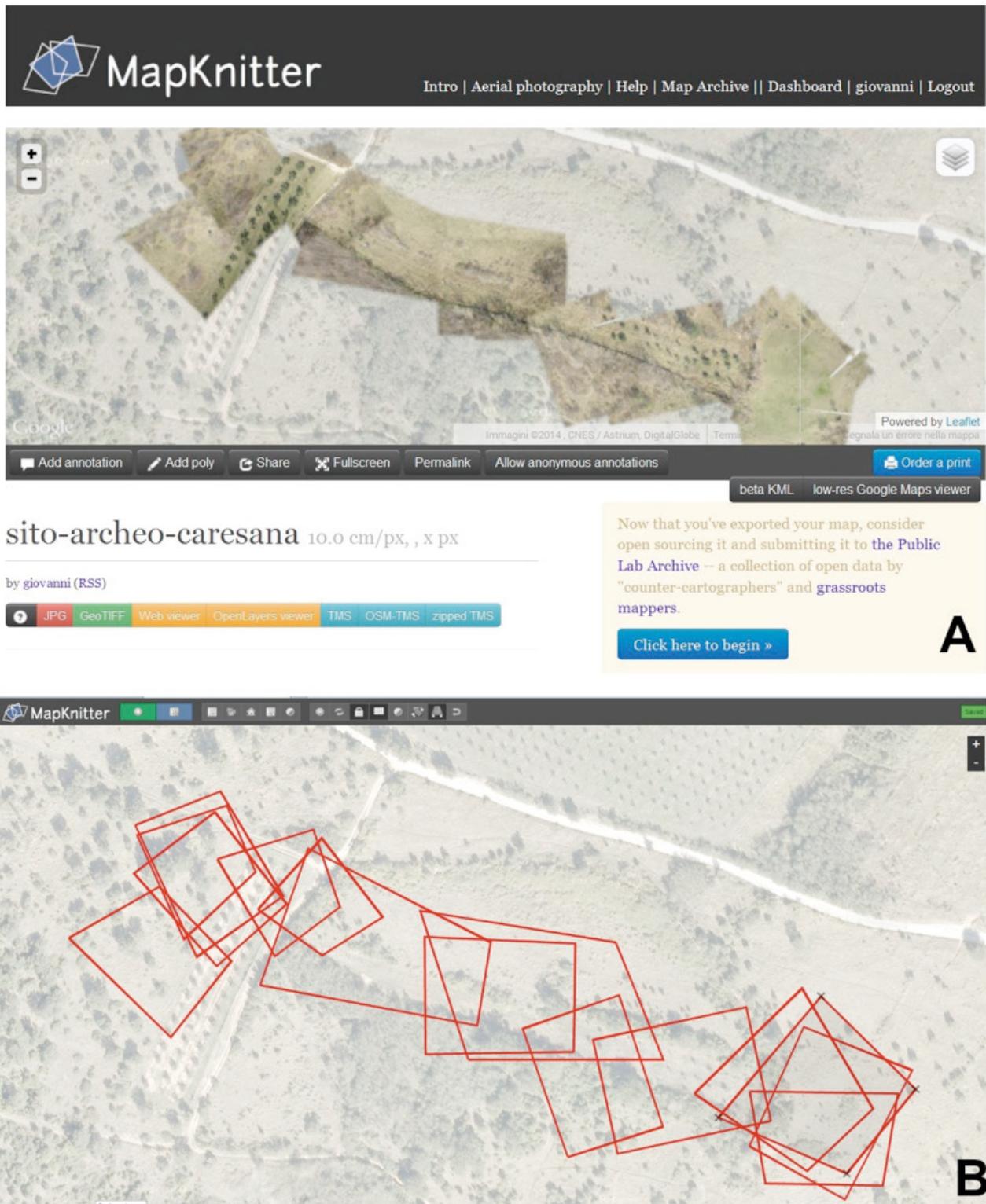


FIGURA 4 – Carta raster del Castelliere di Monte d'Oro.

(A) Interfaccia grafica di Map Knitter;

(B) Grado di distorsione delle immagini originali (sullo sfondo la cartografia opacizzata di Bing Aerial).

del tutto elementi costruiti (edifici, muri di recinzione, etc.), gli unici punti di riferimento abbastanza affidabili erano le piante di ulivo, la strada di campagna o i fusti degli alberi. A fronte delle difficoltà emerse nell'inserire la prima immagine, la situazione è apparsa leggermente migliore nel posizionare la seconda, che poteva fare riferimento anche alla prima immagine già localizzata. Il procedimento assume perciò carattere 'sequenziale' in quanto, con un numero di immagini crescente, i punti di riferimento aumentano.

Il mosaico delle quindici foto prescelte copre un'area dalla forma irregolare (figura 4A), lunga circa 300 m e larga circa 130 m, con risoluzione spaziale che varia tra 1,2 e 2,2 cm/pixel, per una media di circa 1,6 cm/pixel. La cartografia finale è stata esportata in un formato comune per strutture *raster* in ambiente GIS, il formato GeoTIFF, ed è inquadrata nel sistema di riferimento di coordinate geografiche WGS84 (codice EPSG: 4326).

I risultati sono pubblici e disponibili al sito <http://mapknitter.org/maps/sito-archeo-caresana>, la cui interfaccia grafica è riportata in figura 4A. Sullo sfondo viene riportata la cartografia di *Bing Aerial* ad opacità ridotta, mentre il mosaico delle immagini si sovrappone in primo piano. Ne viene riportato il nome ('sito-archeo-caresana'), la risoluzione spaziale scelta dall'autore (10 cm/pixel; scala 1:500⁵) e l'autore ('giovanni'), nonché tutti i formati in cui è possibile avere l'elaborato finale (jpg, GeoTIFF, TMS, OMS-TMS, ecc.).

Sempre nell'ambiente di *Map Knitter* (in fase di modifica) l'utente può visualizzare unicamente i bordi (colorati in rosso) delle immagini prima di procedere alla loro mosaicatura (figura 4B). Si può così valutare preliminarmente il grado di distorsione, tendenzialmente maggiore per quelle immagini meno regolari, minore per quelle più squadrate.

5. L'analisi cartometrica con MapAnalyst

La stima dell'accuratezza geometrica del risultato ottenuto è stata realizzata mediante il procedimento di 'tra-

⁵ In termini di memoria digitale, l'elaborazione occupa circa 32 Mbyte. Per il rapporto tra risoluzione spaziale e scala si veda Favretto (2007).

sformazione-corrispondenza' tra due carte, strumento metodologico proprio dell'analisi cartometrica. Mediante le procedure di *comparaison-correspondence* (Guerra, 2000; Boutura e Livieratos, 2006; Mastronunzio, 2010; Gatta, 2011) non vengono introdotte le deformazioni proprie di un processo di georeferenziazione e viene fornita una stima della corrispondenza tra la carta oggetto di studio e la carta che fa da riferimento. Come strumento di analisi è stato scelto il programma MapAnalyst (versione 1.3.22): si tratta di un'applicazione Java nata per garantire anche agli studiosi di altre discipline la possibilità di valutare in modo 'semplice' l'accuratezza planimetrica della cartografia antica (Jenny & Hurni, 2011). Questo *software* è stato sviluppato dall'istituto di Cartografia del Politecnico Universitario ETH di Zurigo e gratuitamente disponibile al sito (<http://mapanalyst.cartography.ch/>). Mediante l'identificazione di punti doppi, ossia di punti corrispondenti riconosciuti sulla carta da analizzare e quella di riferimento, vengono definiti i parametri per le trasformazioni globali o locali⁶. L'operatore può visualizzare la 'griglia di distorsione' (*distorsion grid*), cioè una griglia che riflette il grado di deformazione e di rotazione a livello locale di una carta: più tale griglia appare 'regolare' (ossia con angoli retti tra le direttrici Nord-Sud ed Est-Ovest) e minore sarà il grado di distorsione della carta oggetto di studio (Mauro, 2010). L'utente può evidenziare, inoltre, i punti doppi caratterizzati da maggior criticità: quando la distanza tra la posizione sulla carta da controllare e quella di riferimento è maggiore a tre volte il valore della deviazione *standard* (calcolata sui valori dei punti doppi inseriti), il colore del cerchio è rosso invece che nero⁷. In questo modo è possibile identificare immediatamente i punti nei quali, nella carta sottoposta a controllo, c'è maggior distorsione⁸.

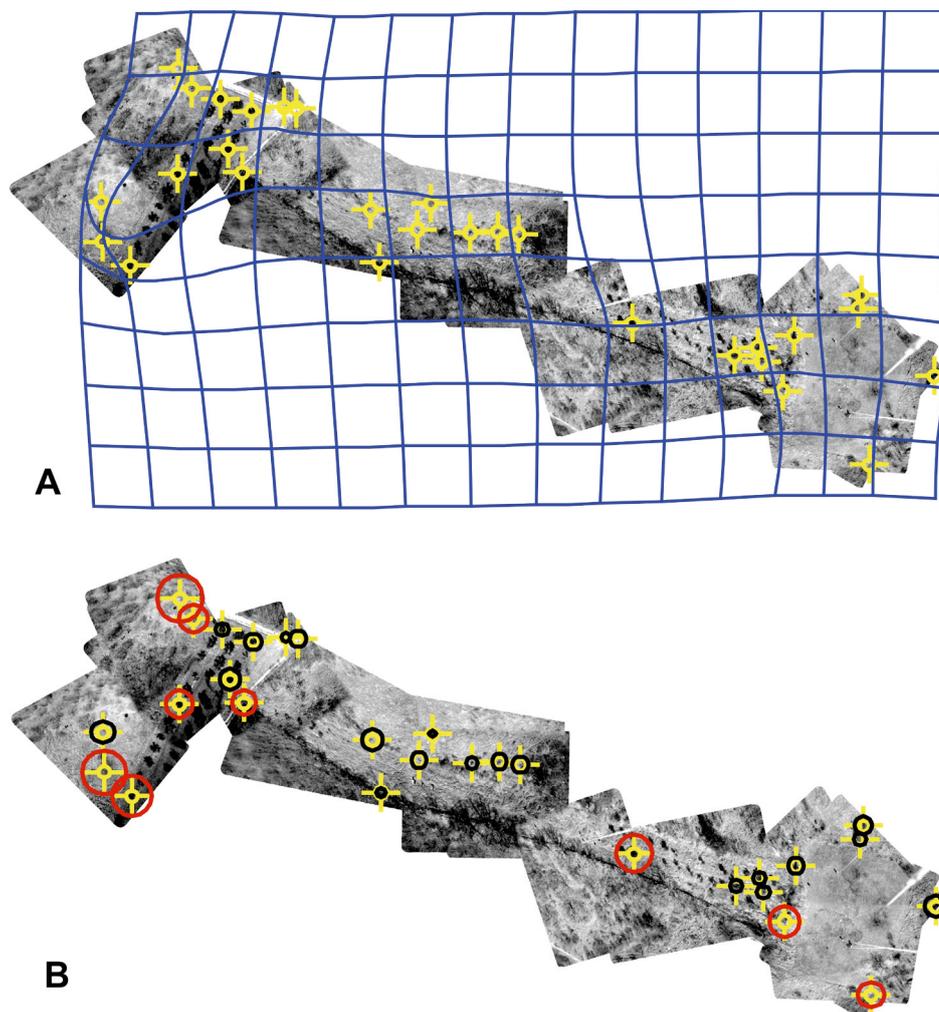
⁶ Le trasformazioni sono classificate in due macrocategorie: globali e locali. Le prime forniscono una stima sull'accuratezza globale della carta, alterando i valori metrici dei punti di controllo (i parametri calcolati dalla trasformazione sulla base dei punti doppi individuati sono validi per la carta nella sua globalità). Le trasformazioni locali, invece, i parametri della trasformazione sono validi solo per un'area limitata o per i soli punti di controllo (Favretto, 2012).

⁷ I colori sono personalizzabili, però in automatico viene fornita questa opzione.

⁸ Il programma permette di visualizzare anche i vettori di traslazione (*displacement vectors*) e le isolinee del fattore di scala e di

FIGURA 5 – Analisi della carta raster del sito di Monte d'Oro con MapAnalyst.

(A) Griglia di distorsione (maglia: 20 m);
 (B) Errore insito dei singoli punti (i punti con il bordo rosso presentano valori di deviazione standard molto elevata)



La cartografia del castelliere di Monte d'Oro realizzata con MapKnitter (figura 4A) è stata confrontata con l'ortofotocarta del Friuli Venezia Giulia (anno 2007)⁹. Sono stati individuati 29 punti di controllo ed è stata applicata la trasformazione globale di Helmert, una rototraslazione piana con variazione del fattore di scala a 4 parametri: traslazione della X, traslazione della Y, rotazione e variazione del fattore di scala.

rotazione (locale) (*isolines of scale and rotation*). I primi consistono in linee che collegano il punto rilevato nella carta analizzata e il suo corrispondente nella carta di riferimento, evidenziando la distanza e la direzione di traslazione tra le due carte (Mauro, 2010).

⁹ Per gentile concessione del servizio cartografico della Regione Friuli Venezia Giulia.

La griglia di distorsione (figura 5A), sovrapposta alla carta con maglia di 20 m x 20 m, pone in evidenza come le aree a maggior criticità siano principalmente quelle poste agli estremi, come confermato anche dalla distribuzione dell'errore 'insito' (la deviazione *standard*) dei punti doppi (figura 5B). Mentre la rotazione ($0,82^\circ$) e la variazione di scala (1,01) sono minime, l'errore medio della carta (*Root Mean Square Error*: 3,42 m) è molto rilevante, soprattutto se posto in relazione con le dimensioni del pixel (10 cm). In sintesi, l'errore è maggiore nelle aree in cui sono state sovrapposte più foto (di cui qualcuna caratterizzata da forte distorsione), quasi a conferma del fatto che l'introduzione sequenziale delle immagini invece che ridurre l'errore lo amplifica.

6. Limiti della metodologia BM: qualche proposta operativa

Durante la prima fase della ricerca sono emersi molti limiti della tecnologia BM, vincolati al sito, alle condizioni meteorologiche, al vettore e, infine, ai costi del gas elio.

Per quanto concerne il sito, sono da escludere a priori: tutte le aree in cui sono presenti linee di corrente elettrica per gli evidenti rischi cui potrebbero andare incontro gli operatori; aree prossime ad aviosuperfici o aeroporti; aree private per le ovvie difficoltà di accesso; aree boscate per le difficoltà che potrebbero sorgere nel gestire il pallone aerostatico; aree che non siano prevalentemente pianeggianti per la potenziale distorsione legata all'orografia, che si andrebbe ad aggiungere a quella delle fotografie. Proprio per questo è strettamente necessario che gli operatori pianifichino per tempo e molto attentamente i siti presso cui recarsi, magari con una visita preliminare (anche per definire quale strategia adottare durante l'uscita con il pallone).

Ovviamente non si può utilizzare il pallone aerostatico in condizioni meteorologiche avverse (piogge e/o temporali) o in condizioni anche minime di ventosità

(≥ 3 m/s), sia perché il pallone potrebbe diventare ingestibile (aumentando il rischio concreto di perderlo), sia perché i risultati sarebbero probabilmente abbastanza scadenti. Infatti, le foto acquisite in queste condizioni sono spesso inutilizzabili a causa della loro deformazione geometrica dovuta all'angolo di ripresa, troppo diverso da quello nadirale. Anche in questo caso gli operatori dovranno attentamente monitorare le previsioni meteorologiche e considerare quali siano le condizioni microclimatiche dell'area di studio (nel presente caso, ad esempio, la posizione sommitale dei castellieri accentua le normali condizioni di ventosità).

Ma i limiti principali sono forse da attribuire al vettore stesso. Le modalità di assemblaggio delle sue componenti (pallone aerostatico, bombola di gas elio, fili, macchina fotografica) si rivelano talvolta un po' macchinose e richiedono del tempo (almeno venti minuti). Inoltre, l'intero vettore non è facilmente trasportabile per cui è necessario pianificare attentamente dove effettuare l'indagine: se non è presente un tracciato facilmente percorribile, il pallone deve essere gonfiato sul posto (con i limiti dettati dal peso della bombola di elio) o si rischia seriamente di incorrere in ulteriori inconvenienti (ad esempio, foratura del pallone aerostatico

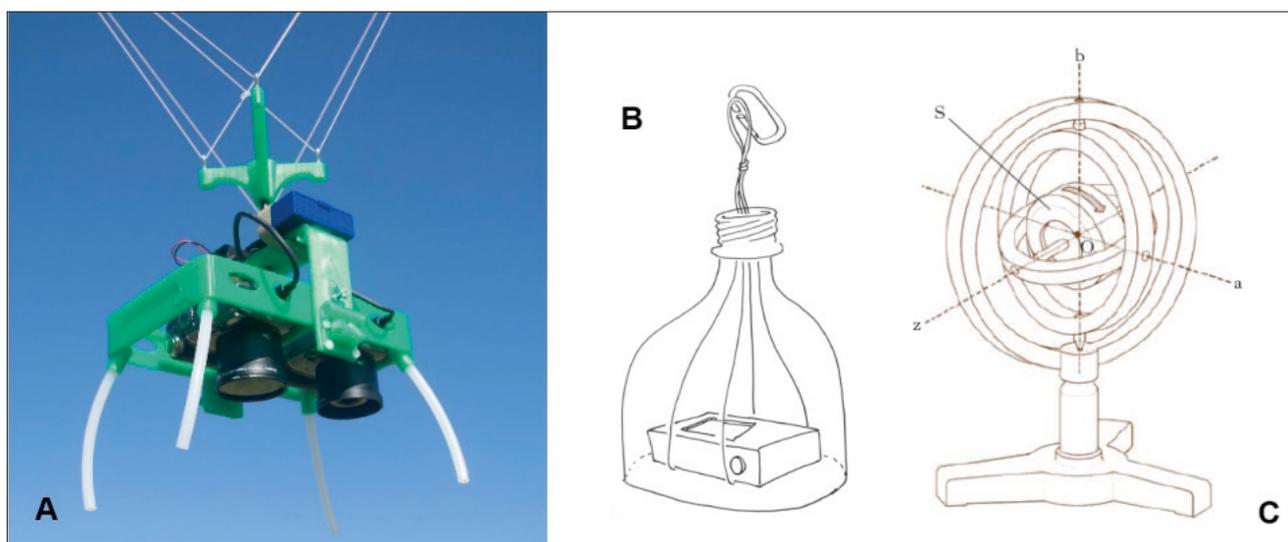


FIGURA 6 – Sistemi per stabilizzare la ripresa della macchina fotografica.

(A) il 'picavet' (fonte: publiclab.org);

(B) la bottiglia di PET forata (fonte: Warren, 2010);

(C) il giroscopio (fonte: www.treccani.it)

TABELLA 1 – Principali limiti della tecnologia BM ed eventuali proposte operative

	Limiti	Proposta operativa
Sito	<ul style="list-style-type: none"> • Presenza linee elettriche • Aviosuperfici • Aree private • Boschi • Aree poco pianeggianti 	<ul style="list-style-type: none"> • Attenta pianificazione delle uscite • Uscita preliminare
Condizioni Meteo	<ul style="list-style-type: none"> • Giornate piovose e/o ventose • Tempo variabile • Microclima poco adatto 	<ul style="list-style-type: none"> • Attento monitoraggio situazione meteo • Scegliere giornate di calma di vento
Vettore	<ul style="list-style-type: none"> • Montaggio macchinoso • Poco trasportabile • Posizione macchina fotografica 	<ul style="list-style-type: none"> • Attenta pianificazione delle uscite • Stabilizzare il sistema: picavet, bottiglia PET forata, giroscopio • Aumentare l'altezza del vettore
Gas elio	<ul style="list-style-type: none"> • Elevati costi del gas 	<ul style="list-style-type: none"> • Ottimizzare al massimo il numero delle uscite

qualora si debba attraversare un tratto alberato). Altro problema è come mantenere la macchina fotografica in posizione 'prossimo-nadirale': infatti, oltre alle condizioni di vento, la sua posizione può essere condizionata da un sistema vettore poco equilibrato a causa di molte variabili (mancata stabilizzazione degli involucri del pallone nella sua fase di gonfiaggio, un filo eccessivamente tirato in un'unica direzione, ecc.).

Le soluzioni per ovviare a questo problema sono molteplici: la prima è il 'picavet' (figura 6A) che è composto da un sistema di fili connesso ad un telaio a forma di croce su cui viene fissata la macchina fotografica (questo sistema è usualmente utilizzato nel *kite mapping*); la seconda è la 'bottiglia di soda forata' (*the soda bottle rig*; figura 6B), in cui la macchina fotografica è assicurata con un sistema di elastici e moschettone ad una bottiglia in PET forata, che la protegge da eventuali urti; il terzo è il giroscopio (figura 6C), un meccanismo fisico rotante che, a causa della legge di conservazione del momento angolare, tende a mantenere il suo asse di rotazione orientato in una direzione fissa permettendo di seguire nel tempo l'orientamento di una terna¹⁰.

¹⁰ Fonte: Laboratorio di Topografia, Università degli Studi di Perugia (labtopo.ing.unipg.it).

Per ridurre la distorsione dell'immagine si dovrebbe alzare, per quanto possibile, il vettore. Come evidenziato con l'analisi cartometrica, il mosaico delle immagini comporta un errore piuttosto marcato (soprattutto quando le immagini che si sovrappongono sono molte) perciò è necessario aumentare l'altezza del pallone¹¹.

Tuttavia, il limite sicuramente più importante per la tecnologia BM è quello economico, condizionato dall'elevato costo unitario del gas elio che è, a tutti gli effetti, un gas scarsamente disponibile su scala globale. Per ovviare a questo problema l'unica soluzione proponibile è quella di ottimizzare al massimo il numero delle uscite, ponendo molta attenzione a tutte le variabili di cui sopra.

In tabella 1 vengono riportati schematicamente principali limiti della tecnologia BM e le eventuali proposte operative.

¹¹ Warren (op.cit.) propone un'altezza del pallone aerostatico di circa 1.400 m per riprese con un lato di oltre un Km.

7. Potenziali sviluppi futuri?

A fronte delle difficoltà evidenziate, quali sono realisticamente le potenzialità della tecnologia BM in un settore, quello dell'aerofotogrammetria di precisione, che ha visto di recente l'impetuosa crescita dei droni, il cui prezzo è, in modo altrettanto veloce, crollato? Com'è noto, il principale limite attuale degli aeromobili a pilotaggio remoto è la loro permanenza in volo. Nel mercato attuale i modelli economicamente più accessibili (500-1.000 euro) hanno un'autonomia compresa tra i dieci e venti minuti circa. Per contro il BM, malgrado tutti i suoi limiti, non presenta questo inconveniente: la sua permanenza in volo è garantita almeno per un'intera giornata lavorativa.

Proprio per questo, oltre a poter implementare tecnologia che ne aumenta le prestazioni (macchina fotografica ad infrarosso, stabilizzatori del pallone in volo, ecc.), la vera 'chiave di volta' è la possibilità data dal

BM di effettuare registrazioni 'in continuo' per un periodo di tempo relativamente lungo (ad esempio una giornata). Come al solito, le applicazioni possono essere alquanto eterogenee e dipendono solo dalla fantasia dei ricercatori. Se ne riportano solo alcune, a titolo esemplificativo: monitoraggio di piazze in ambiti urbani per valutare i movimenti e i flussi delle persone all'interno di queste aree¹²; generazione di modelli digitali del terreno e mappatura dei movimenti delle dune nel deserto (Lorenz e Scheidt, 2014); mappatura di siti archeologici in ambito lagunare, in condizioni di bassa marea, ecc.

Come si può facilmente comprendere, malgrado i forti limiti intrinseci del BM, le opportunità geografiche per sfruttare questa tecnologia sicuramente non mancano.

12 Pur avendo carattere alquanto pionieristico, questo tipo di ricerca è stata condotta recentemente anche in diverse località degli Stati Uniti, come ad esempio a Washington (http://classes.jessicairish.com/participatory_city/tag/balloon-mapping/), Philadelphia (<http://planphilly.com/eyesonthestreet/2013/09/05/studying-public-space-usage-via-balloon-mapping/>), ecc.

Bibliografia

- ANTONELLI F., BERNARDINI F., CAPEDE S., LAZZARINI L., MONTAGNARI KOKELJ E. (2004). *Archaeometric study of protohistoric grinding tools of volcanic rocks found in the Karst and Istria*. *Archaeometry* 46, pp. 537-552.
- BANDELLI G., MONTAGNARI KOKELJ E., (Eds.), (2005). *Carlo Marchesetti e i castellieri, 1903-2003*. Editreg, Trieste.
- BENNET J. (2010). *OpenStreetMap. Be your own Cartographer*, Birmingham: Packt Publishing.
- BERNARDINI F., SGAMBATI A., MONTAGNARI KOKELJ M., ZACCARIA C., MICHELI R., FRAGIACOMO A., TIUSSI C., DREOSSI D., TUNIZ C., DE MIN A. (2013). *Airborne LiDAR application to karstic areas: the example of Trieste province (north-eastern Italy) from prehistoric sites to Roman forts*. *Journal of Archaeological Sciences* 40, pp. 2152-2160. <http://www.elsevier.com/locate/jas>; data di ultima consultazione: 15 giugno 2014.
- BOUTURA C., LIVIERATOS E. (2006). *Some fundamentals for the study of the geometry of early maps by comparative methods*, e-Perimetron, 1-1, pp. 60-70.
- CERAUDO G., BOSCHI F. (2009), *Fotografia aerea per l'archeologia*, In: E. Giorgi (ed.): *Groma 2. In profondità senza scavare. Metodologie di indagine non invasiva e diagnostica per l'archeologia*, Bologna 2009, pp. 159-173. <http://unibo.academia.edu/FedericaBoschi/Papers>; data di ultima consultazione: 27 giugno 2014.
- FAVRETTO A. (2007). *Sviluppo locale ed integrazione regionale: metodologie e problematiche con particolare riferimento alla cartografia*, Pátron, Bologna, pp. 1-56.
- FAVRETTO A. (2012). *Georeferencing Historical Cartography: a Quality-Control method*, *Cartographica*, 47/2012, pp. 161-167.
- GARTNER G. (2009). "Web mapping 2.0", in: *Rethinking Maps*, ed. M Dodge, R. Kitchin e C. Perkins, New York, Routledge.
- GATTA G. (2011). *Analisi metrica di cartografia antica in ambiente digitale*, *Bollettino AIC*, 241-242, pp.41-53.
- GUERRA F., (2000), *2W: New technologies for the georeferenced visualization of historic cartography*, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIII, B5, Amsterdam.
- LEVY S. (2013). *How Google will use high-flying balloon to deliver Internet to the hinterlands*, *Wired*. http://www.wired.com/2013/06/google_internet_balloons/all/google.com/loon; data di ultima consultazione: 15 maggio 2014
- LORENZ R. D., SHEIDT S.P. (2014), *Compact and inexpensive kite apparatus for geomorphologica field aerial photography, with some remarks on operations*, *GeoResJ* 3-4, 1-8. <http://www.elsevier.com/locate/GRJ>; data di ultima consultazione: 20 giugno 2014.
- JENNY B., HURNY L. (2011). *Studying cartographic heritage: Analysis and visualization of geometric distortions*, "Computer & Graphics", 35-2, pp. 402-411.
- JENSEN J. R. (2000). *Remote Sensing of the Environment. An Earth Resource Perspective*, New Jersey, Prentice Hall.
- MARCHESETTI C. (1903). *I castellieri preistorici di Trieste e della Regione Giulia*. *Atti del Museo Civico di Storia Naturale di Trieste* 4, 1-206.
- MASTRONUNZIO M. (2010). *Stima dell'accuratezza geometrica di due mappe ichnografica coeve (1777) per la ricostruzione del paesaggio nella conca di Trento*, *Semestrare di Studi e Ricerche di Geografia*, 2, pp.91-102.
- MAURO G. (2010). *Distorsioni geometriche della cartografia storica: analisi di alcune cartografie realizzate tra il 1500 ed il 1700 relative al Golfo di Trieste*, *Bollettino AIC*, 138, pp.109-121.
- MAURO G. (2013). *Cartografia 2.0: partecipativa o "esclusiva"?*, *Bollettino AIC*, 147, pp.125-132.
- RAZ S. (2013). *Up in the air: Aerial surveillance along the Gaza border*. <http://www.idf.il/1283-19239-en/Dover.aspx>; data di ultima consultazione: 19 giugno 2014.

SEANG T.P., MUND J.P. (2006). *Balloon Based Geo-Referenced Digital Photo Technique a Low Cost High-Resolution Option for Developing Countries*, Proceedings of the XXIII International FIG Congress, Munich, Germany, pp. 1-12. https://www.fig.net/pub/fig2006/papers/ts73/ts73_02_mund_

peng_0425.pdf; data di ultima consultazione: 25 maggio 2014.

SOLTANI A. (2011). *Embodied airborne imagery: low-altitude urban filmic topography*, Electronic Visualization and the Art – EVA 2011, London, pp.108-115. <http://ewic.bcs.org/>

content/conWebDoc/40579; data di ultima consultazione: 7 giugno 2014.

WARREN J. Y. (2010). *Grassroots Mapping: tools for participatory and activist cartography*, Massachusetts Institute of Technology (MIT). <http://unterbahn.com/thesis-web/thesis.pdf>; data di ultima consultazione: 28 aprile 2014.