

“MURA DELLA BASTIA” – ONIGO DI PEDEROBBA (TREVISO).
RICERCHE ARCHEOLOGICHE, RILIEVO 3D LASER SCANNING
E ANASTILOSI VIRTUALE IN UN CASTELLO MEDIEVALE
DEL PEDEMONTE TREVIGIANO

1. RICERCA E SAPERI DIVERSI

Non raramente, a dispetto di un luogo comune malevolo, sebbene purtroppo talora veritiero, la ricerca italiana riesce a unire saperi eccellenti di diversa origine e competenza specialistica per un fine comune di conoscenza. In questo senso e nel nostro caso un merito non piccolo si è ritagliata negli anni la Scuola di Dottorato in Studio e Conservazione dei Beni Archeologici e Architettonici dell'Università degli Studi di Padova. È al suo interno infatti che si intrecciano progetti che necessariamente richiedono professionalità sul versante sia archeologico, sia tecnico scientifico, come l'ingegneria, l'architettura, la chimica, l'informatica applicata.

Così è avvenuto che tra i due indirizzi del Dottorato (Scienze Archeologiche e Scienze e Tecnologie per i Beni Archeologici e Architettonici), e più in particolare tra Topografia antica del Dipartimento di Archeologia (DArc) e il Laboratorio di Rilevamento e Geomatica (LRG, prof. Vladimiro Achilli insieme ai suoi validi dottorandi e assegnisti) del Dipartimento di Architettura, Urbanistica e Rilevamento (DAUR), si sia avviata una fattiva e simpatica (nel senso antico del termine) collaborazione volta a costituire un gruppo multidisciplinare, funzionale all'acquisizione delle evidenze archeologiche mediante l'ausilio di moderne tecnologie.

Il campo d'azione comune è stato lo scavo a Onigo (Pederobba, Treviso, sulla sponda destra del Piave) del castello pedemontano detto Mura della Bastia, dove da vari anni Topografia antica conduce uno scavo scuola con studenti di corso e dove più di recente il cantiere archeologico è stato affidato alla responsabilità di Matteo Frassine. Si deve in realtà segnatamente alla sua tenacia organizzativa e alla sua capacità di aggregazione se Mura della Bastia sembra oggi uscire dai tempi di una ricerca di routine per attingere al ruolo di una aperta esperienza metodologica, non confinata a un solo specialismo.

Si deve anche dire tuttavia che il verificarsi di una tale convergenza è un aspetto che risulta ormai di fatto connaturato alle normali procedure dell'archeologia, ma ciò non cambia il valore progressivo di un quadro di lavoro comune e di strada fatta insieme.

Onigo d'altra parte si prestava bene a un'esperienza di rilievo e di restituzione, dal momento che un disgraziato crollo verso la fine degli anni Ottanta del secolo scorso aveva sparso intorno in molti blocchi l'alzato, all'epoca

ancora parzialmente superstite, della torre centrale del castello. Di qui varie ipotesi ricostruttive non proprio praticabili, tra le quali anche quella un poco fantasiosa di tentare di rimettere in opera i blocchi conservati, senza considerare che, a prescindere dai problemi tecnici, sarebbe comunque mancato il tessuto connettivo del contesto architettonico irrimediabilmente perduto.

Proprio in questo caso il laser scanner e la fotogrammetria digitale, metodologie di rilievo tridimensionale ad alta precisione che già trovano larga applicazione in analisi conoscitive e diagnostiche in ingegneria e in architettura, sembravano i modi più corretti per arrivare a una restituzione architettonica virtuale senza rincorrere un'impossibile tentazione di risarcimento tradizionale. Alle Mura della Bastia sono state perciò utilizzate "metodologie di rilievo laser scanning terrestri, integrate con tecniche topografiche classiche e rilievi fotografici metrici ad alta risoluzione".

L'elaborazione successiva dei dati ha consentito poi di produrre un modello virtuale della torre e della vicina cisterna-pozzo veneziana, nonché di ottenere elementi dalle caratteristiche "fotorealistiche" che sono andati a costituire le componenti portanti di una sorta di "puzzle" ricostruttivo che si è per tal fine basato anche su vecchie immagini fotografiche delle strutture prima del crollo. In particolare a quest'ultima ricerca "d'archivio" e nei "depositi" stratificati delle famiglie hanno dato un contributo importante, oltre che il Comune di Pederobba, molti cittadini locali, mostrando così in termini di compartecipazione attiva la volontà di essere non solo coinvolti, ma pure di diventare in qualche modo protagonisti della rilettura della propria storia. È stato quindi anche dall'incontro di moderne tecnologie e di antiche testimonianze che si è riusciti a fornire un orizzonte nuovo di conoscenza di un'architettura medioevale di difesa.

G.R.

2. MURA BASTIA: DALLE FONTI ALL'ARCHEOLOGIA, ALL'ANASTILOSI VIRTUALE DELLA TORRE DI ONIGO

2.1 *Il castello nelle fonti documentarie*

L'11 marzo 1903 Pietro Bianchet, un povero fittavolo alle dipendenze della contessa Teodolinda Zenobia Costanza, assassinava in Treviso l'ultima discendente dell'antica e potente famiglia Onigo. La prima attestazione conosciuta di questa stirpe risale al 4 maggio 1218, quando Walpertino da Cavaso, restituendo la dote della sua defunta moglie Palma da Romano al padre Ezzeolino II il Monaco, viene nominato anche come Walpertino *de Vulnico* (VERCI 1779, III, doc. LXXXIX, 167). Costui era figlio di un altro Walpertino (VERCI 1779, I, 101; III, doc. LXXV, 148-149) e di Ludovica Capilupi, che aveva portato in dote ai da Cavaso molti beni, tra cui il castello di Onigo. La morte di Walpertino padre nel 1197 conduce, nella logica delle spartizioni ereditarie,

ad una separazione nella famiglia da Cavaso e all’allontanamento di Ludovica e figlio, che acquisteranno un nuovo etimo di provenienza, in relazione alla dimora scelta: Walpertino è infatti stabilmente denominato da Onigo sia nel 1223 (VERCI 1779, III, doc. C, 190), sia nel 1235 (BONIFACCIO 1744, 187).

L’attestazione più antica del castello finora nota risale alla carta dotale concessa a *Riccarda ancilla Walpertini* il 14 febbraio 1183 con un *actum super castrum de Vulnico in plateam infra portam* (FUSATO, SARTOR, VENDRAMIN 1986, 75, 86; CAGNIN 1996, 140, nota 3). Soltanto con il 30 luglio 1263 si ottengono però ulteriori e più specifiche informazioni sull’insediamento castellano. A questo momento si ascrive infatti l’inizio del processo che vede contrapposto Giovanni da Onigo, figlio unico di Walpertino, al comune di Treviso che, il 16 marzo 1260, aveva incamerato tutti i beni appartenuti ad Ezzelino III da Romano (VERCI 1779, III, doc. CCLI, 422), tra cui anche il castello di Onigo. A Verona, infatti, nel 1246 Giovanni aveva venduto, secondo la tradizione *propter metum et per forciam* (VERCI 1779, III, doc. CCLXIX, 481; RANDO 1989, 57, nota 120; ROSADA, RIGONI 1998, 200), i propri possedimenti ad Ezzelino per 12.000 lire, di cui solo 500 gli erano state realmente versate (FARRONATO 1997, 10-12). Per provare l’antico possesso del castello, Giovanni si avvale di una serie di testimoni che sostengono sia la legittimità della richiesta, sia che il *castrum* apparteneva già al padre Walpertino. Il primo teste, *Ser Martinus Barberius de Vulnico*, ricorda infatti non solo che egli *stabat in Vulnico, et laborabat de suis terris pro eis*, come già faceva suo padre da oltre quarant’anni, ma soprattutto che più di venticinque anni prima egli aveva fatto *custodias plures in dicto Castro, et jovit laborare illud Castrum, et portari plusquam mille petras* (VERCI 1779, III, doc. CCLXIX, 476-477, 481). Dunque intorno al 1235 Martino non solo aveva dovuto contribuire alla difesa del castello con turni di guardia, ma aveva anche partecipato a «imprecisati lavori che dovettero comportare spostamenti di un’ingente quantità di materiali da costruzione e quindi una cospicua attività edilizia promossa dal *dominus*» (ROSADA, RIGONI 1998, 202).

Se la testimonianza di Martino appare certamente preziosa, per comprendere altresì alcune dinamiche sociali dell’epoca, non da meno risulta quella del secondo testimone, *Tiso de Francha de Vulnico*, che con i suoi ricordi si spinge ancora più addietro nel tempo, affermando che circa una quarantina d’anni prima, ovvero intorno al 1223, il *castrum* di Onigo, di proprietà del domino Walpertino, era dotato di una *canipa*, ovvero di un magazzino, dove rustici e vassalli portavano *fructus, fictus e redditus*, raccolti *per Gastaldiones, et Nuncios* (VERCI 1779, III, doc. CCLXIX, 483-484)¹. Le parole dei vari testi inducono il giudice Alberto Gatto ad emettere, in data 27 giugno 1265, una

¹ Confermano le due testimonianze precedenti anche le parole di *Litifredus de Pedreto de Cavalea* (VERCI 1779, III, doc. CCLXIX, 485).

sentenza favorevole a Giovanni, che rientra così in possesso dei suoi beni, a patto che egli restituisca le 500 lire percepite dalla vendita del castello. Allegato alla pergamena che riporta tale decisione vi è inoltre un altro importante documento, datato al 13 settembre 1266, in cui il consiglio di Treviso accorda a Giovanni la possibilità di *reddificari facere domum unam cum uno solaro ubi fuit castrum Vulnici cum curtina una ante cisterna ubi possit stare securus* (CAGNIN 1996, 135; FARRONATO 1997, 10-12)².

Questi documenti attestano dunque la presenza di un castello ad Onigo, che era provvisto di una cisterna, di una *canipa* e di una casa *solerata*, come dimostrano anche le fonti successive. Nel 1282, dopo la morte di Giovanni (1270), i figli Gualpertino ed Enrico si dividono in parti uguali i beni paterni e al primo tocca *unam domum soleratam cum canipa et cum ecclesia iacens in Volnico ubi quondam dominus Ioannes de Volnico pater dicti domini Gualpertini morabatur*. Quest'ultimo, tuttavia, insolvente con il padovano Pietro da Peraga, e indirettamente con Biaquino da Camino, viene successivamente espropriato dei suoi averi (*in primis de castro Volnici pertinente domino Gualpertino de Volnico cum cortivo et terra que est prope dictum castrum*), per far fronte al debito contratto di 2.700 lire. I beni di Gualpertino, messi all'asta, vengono acquistati il 23 maggio 1303 dal nipote Odorico (CAGNIN 1996, 135; FARRONATO 1997, 27-37)³.

Con la morte di quest'ultimo, il castello passa nelle mani di suo fratello Guglielmo che lo detiene dal 1317 fino al 1330, anno della sua morte. In questo lasso di tempo sembra che il nuovo proprietario abbia eseguito alcuni lavori di ristrutturazione e ampliamento della struttura fortificata. Nell'atto del 29 dicembre 1345, che sancisce l'effettiva suddivisione dell'area castellana tra i tre eredi maschi di Guglielmo, cioè Odorico detto Comparino, Andrea detto Peio (o Pileo) ed Ezzelino, compare infatti non solo una distinzione finora ignota tra un *castrum vetus* e un *castrum novum*, ma anche tutta una serie di riferimenti al dongione, alle cerchie murarie, alle torri, al palazzo, alla cisterna, alle porte, ai terrazzi sopraelevati, alle scale, agli spalti e al cortile: alcuni di questi elementi si ritrovano anche in altri atti famigliari conclusi appunto *in castro de Ulnico super sala posita iuxta poyolum dicti castri*. Dopo la morte di Pileo (28 ottobre 1368), i suoi nipoti Bonsembiante e Guglielmo ereditano, tra i vari beni, nel 1371, anche la corrispettiva parte del castello di Onigo (*videlicet pars castri Vonici cum palaciis, turibus, circhis et aliis hedificiis in ipso castro hedificatis, quod castrum situm et hedificatum est in vila de*

² Con una leggera sfumatura viene citato questo passo anche in ROSADA, RIGONI 1998, 204: ... *reddificari facere domum suam*.

³ Il castello, con la sua *villa*, viene citato anche quando gli Scaligeri, affiancati da Enrico conte di Gorizia, si muovono alla conquista del territorio trevigiano: il 24 luglio 1313 Treviso emana infatti ordini per la difesa della città e dei castelli del suo territorio, tra cui Onigo (VERCI 1787, VI, 22).

Vonico in sumitate montis Cengle cum suis iuribus et coherenciis), un edificio che pare oramai lontano, visto da una prospettiva cittadina (CAGNIN 1996, 137-138), dove il *dominus* non risiede più, come sembrerebbero attestare i successivi riferimenti al luogo con funzione di bastia.

Onigo è infatti citato come tale in relazione alle attività belliche (1376) condotte dal duca d’Austria Leopoldo per impossessarsi dei territori trevigiani, all’epoca sottoposti al dominio di Venezia. È in questo frangente che il veronese Giacomo Cavalli, comandante delle milizie veneziane, riorganizza un esercito a Treviso con il quale «andò ad Onigo, e con bastie, ed altri ripari fortificatolo, passò a Quero» (BONIFACCIO 1744, 409-410). La sua trasformazione in bastia è ancor più evidente dai fatti accaduti durante la guerra veneto-scaligera, quando, il 15 ottobre 1386, il conte Luzzo comandante delle truppe veronesi di Antonio della Scala pose il «campo intorno la bastia di Vonigo tenuta per le genti et huomini di Pè-di-rubba, et di altri luoghi vicini, et era la detta bastia piena di biade et bestiami con pochi soldati ma assai huomini della villa alla guardia». Proprio per l’inesperienza al combattimento degli abitanti di Pederobba e la disparità delle forze schierate, lo scontro tra le fazioni si risolse nei giorni successivi (17 e 19 ottobre) con una «picciola battaglia» e con l’incendio della bastia (GATARI 1909-31, 260)⁴.

2.2 Il castello attraverso una sintesi dei dati archeologici

La documentazione che permette di seguire lo sviluppo della famiglia Onigo include, come si è visto, non poche indicazioni sulla struttura fortificata, alcune delle quali hanno trovato conferma nelle indagini archeologiche condotte dalla cattedra di Topografia antica dell’Università di Padova nel Pedemonte trevigiano (*Onigo* 1995-2008).

Il sito, identificato ancora oggi col toponimo Mura della Bastia, si trova a nord-ovest dell’odierno abitato di Onigo sull’estremità orientale dei rilievi che delimitano a meridione la Valcavasia, una depressione situata tra le pendici del Monte Grappa e le ultime propaggini dei colli asolani. I resti della fortificazione medievale, ubicati ad una quota di circa 250 m s.l.m., occupano la parte sommitale di un crinale, che si presenta come un avamposto naturale funzionale al controllo del fiume Piave, importante asse di comunicazione già in epoca protostorica e romana (Fig. 1).

Il castello è connotato da una doppia cerchia muraria. Quella più esterna, ad eccezione del lato meridionale praticamente assente, è caratterizzata da alzati abbastanza conservati, talora fino a più di 2 m; nella parte occidentale, due muri ammorsati alla cinta costituiscono probabilmente una

⁴ Il 3 agosto 1426, «il comune di Treviso concede ai comuni di Quero, Valdobbiadene et Vulnici, di *facere basistas (bastias?) ut possint se bona et animalia sua reducere*» (FUSATO, SARTOR, VENDRAMIN 1986, 85).



Fig. 1 – Onigo, Mura della Bastia: localizzazione topografica (dettaglio da una tavoletta IGM del 1890, F°38 IV SO – Valdobbiadene); il castello in una ripresa aerea del 2000 (FIORINO 2003).

piccola torretta di difesa (t), mentre nella parte settentrionale è stata individuata, durante la campagna 2007, una piccola postierla (p), tamponata con un muro a secco (FRASSINE 2008). Questa cinta si appoggia ad una seconda cerchia che costituisce un ridotto fortificato connotato da un contrafforte (c) aggettante verso nord: tale cortina difensiva, assente per un breve tratto lungo il lato settentrionale, cinge la zona più rilevata della dorsale collinare, appoggiandosi all'angolo nord-occidentale della torre, mentre resta ancora ignoto il rapporto con l'angolo sud-orientale (Fig. 2).

Proprio qui, ovvero nell'area corrispondente al dongione, gli scavi si sono concentrati durante questi anni, contribuendo, nonostante la brevità degli interventi, ad una migliore comprensione dell'insediamento. Le prime indagini hanno permesso di individuare una zona destinata probabilmente a magazzino (B), forse corrispondente alla cosiddetta *canipa* citata nella testimonianza di *Tiso de Francha de Vulnico* (RIERA, VENTURINI 1995; ERCOLINO, RIERA 1995). Ad occidente di questo ambiente era poi stata messa in luce un piccola porzione di un vaso, che pareva corrispondere, per la sua fisionomia, alla cisterna menzionata nel documento del 1266 (COLAUTTI 1996, 45-46). Tuttavia, la presenza a quel tempo di tre enormi blocchi di muratura relativi al crollo della torre, avvenuto nella notte tra il 7 e l'8 luglio 1989, aveva impedito un'indagine estensiva. Soltanto una volta liberata l'area, in concomitanza con i restauri dell'edificio principale (FIORINO 1999, 2003), fu possibile riprendere le attività di ricerca, che dal 2002 si concentrarono nelle zone immediatamente ad oriente della torre (G e H).

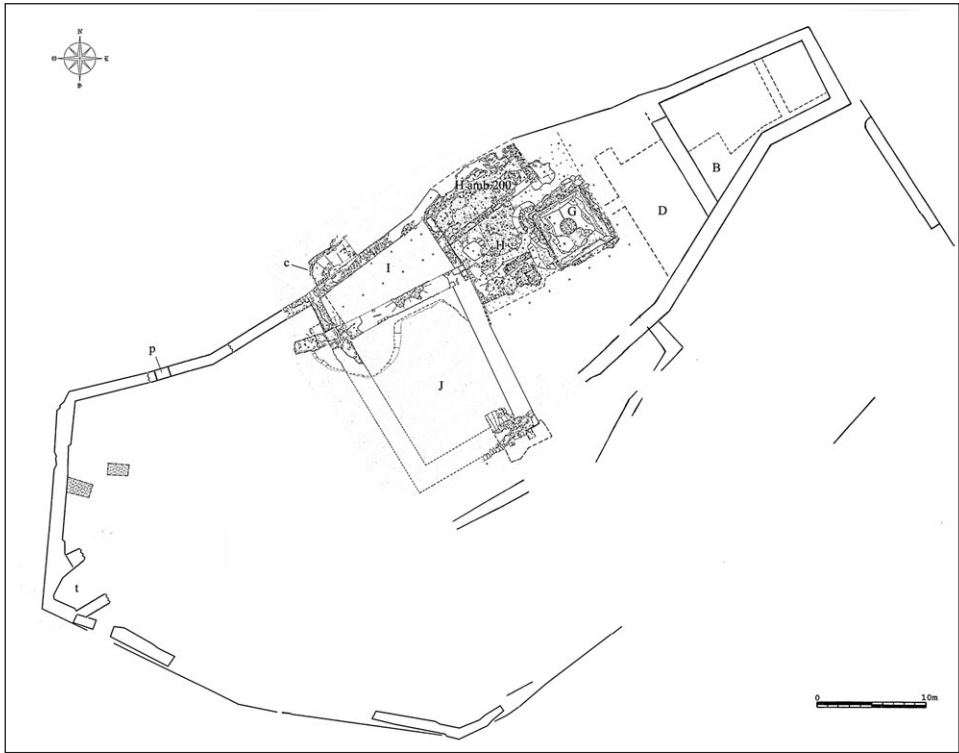


Fig. 2 – Onigo, Mura della Bastia: planimetria generale del castello con indicate le aree di scavo (B-J) ed alcuni particolari architettonici della fortificazione: torretta (t), postierla (p), contrafforte (c) (elaborazione M. Frassine).

Qui, nonostante il forte sconvolgimento del record archeologico, a causa degli eventi bellici che, durante la Grande Guerra, videro Mura Bastia tra i capisaldi del fronte italiano, è stato possibile osservare che l'area compresa tra la torre (J) e la presunta *canipa domini* doveva essere scoperta e forse in alcuni punti sistemata con piccole opere di terrazzamento per regolarizzare le asperità del terreno e permettere al contempo una più agevole fruizione del magazzino e della cisterna (ERCOLINO 2004-2007a). Quest'ultima (G), in particolare, è stata indagata completamente tra il 2002 e il 2005 (CERCHIARO 2003, 2004; FRASSINE 2005, 2006) e ha consentito di studiare un manufatto idraulico (appartenente alla tipologia di cisterne “alla veneziana”), ancora molto ben conservato e in parte funzionante. Tale struttura si presentava come un vaso quadrangolare (con una media per lato di 5,10 m e una profondità di 5,27 m), le cui pareti erano rivestite di cocchiopesto e da un potente strato di argilla impermeabilizzante. L'interno era invece riempito di inerte attra-

verso il quale passava l'acqua piovana che, dal fondo, penetrava nel pozzo centrale, filtrando dagli ultimi sette corsi basali della canna, gli unici a non essere rivestiti d'argilla (FRASSINE 2006).

Terminata l'analisi della cisterna, il prosieguo delle indagini ha condotto ad un ampliamento del settore H verso nord (H amb. 200). Qui è emerso un ambiente rettangolare addossato alla cinta, caratterizzato, lungo il perimetrale occidentale, da una soglia monolitica tamponata, che denotava un mutamento nell'utilizzo degli spazi del castello (FRASSINE 2007b). Attualmente, è infatti possibile proporre almeno tre fasi edilizie distinte. La prima sembra includere la torre, databile tra la fine del XII e gli inizi del XIII secolo (ERCOLINO 2007b)⁵, la cortina muraria interna, la cisterna e la *canipa domini*; la seconda avrebbe comportato invece la trasformazione di un'area originariamente aperta (I) in una zona chiusa mediante la creazione di un muro nord-sud contrassegnato dalla soglia monolitica, con un foro per il cardine di una porta. Tale passaggio sarebbe stato infine obliterato in concomitanza della realizzazione dell'ambiente 200 (FRASSINE 2007b). Per quest'ultima fase, in particolare, gli elementi raccolti permettono di ipotizzare che tale struttura possa forse ricondursi a quella risistemazione del castello intrapresa sotto Guglielmo nella prima metà del XIV secolo.

L'area del dongione, nella sua prima organizzazione, pare dunque essere il frutto di un progetto unitario, ascrivibile verosimilmente alla fine del XII-primi del XIII secolo, momento in cui molti castelli vengono rinnovati proprio con la costruzione del *doglonum* (SETTIA 1984, 376). Le prime indagini (D) non hanno infatti escluso che anche ad Onigo vi fosse un insediamento anteriore, che avrebbe contribuito, forse tra XI e XII secolo, alla formazione di un terrapieno, funzionale a regolare l'andamento morfologico della dorsale, fortemente in pendenza da nord verso sud (COLAUTTI 1996, 41-43; ROSADA, RIGONI 1998, 209). Inoltre, la costruzione del dongione coincide sovente con un cambio di proprietà (SETTIA 1984, 376, 378): tale considerazione potrebbe valere anche nel nostro caso, qualora si prestasse fede ad alcune testimonianze che individuano nella vedova Ludovica Capilupi l'artefice del castello di Onigo (FUSATO, SARTOR, VENDRAMIN 1986, 74), dopo la morte di Walpertino, ovvero proprio in quella fase di transizione dai da Cavaso ai da Onigo. La prima attestazione del castello del 1183 sarebbe pertanto da ricondursi ad un primo insediamento di cui, come si è detto, l'archeologia sembra avere individuato qualche traccia. Spingendosi più in là nella riflessione si potrebbe anche ipotizzare che i lavori (*plusquam mille petras*) ricordati da *Ser Martinus Barberius* intorno al 1235 siano riferibili alla costruzione della cinta muraria più esterna, la cui porzio-

⁵ L'analisi delle malte della porzione muraria conservata della torre ha evidenziato la presenza di selce come elemento proprio e caratterizzante di un unico intervento edilizio (FIORINO 2003, 245).

ne orientale, per la tecnica costruttiva totalmente differente, potrebbe invece ascriversi all’attività edilizia promossa da Guglielmo; tali considerazioni, per le quali non si hanno al momento dati concreti, potranno essere convalidate o smentite solo dalle future ricerche archeologiche.

Sicure sono, al contrario, due cesure temporali nell’occupazione del sito. La prima è relativa all’epoca romana, del tutto priva di attestazioni in questa zona, mentre la seconda si articola tra XV e XX secolo, periodo in cui l’area è interessata solo sporadicamente dalla presenza umana, soprattutto a partire dal 1768 quando il castello di Onigo comincerà ad essere in parte demolito e le sue pietre serviranno per la costruzione delle case limitrofe (FUSATO, SARTOR, VENDRAMIN 1986, 84). L’area, infine, sarà rioccupata più stabilmente solo durante la Prima Guerra Mondiale, come punto di controllo e difesa del fiume Piave (novembre 1917-ottobre 1918).

2.3 *La campagna 2007 e il progetto di anastilosi virtuale*

Sul finire della campagna di scavo 2006 era stato possibile intraprendere la rimozione di alcuni crolli più superficiali della torre di Onigo, senza tuttavia riuscire a completare l’operazione (FRASSINE 2007a). L’indagine 2007 è dunque ripartita proprio da qui e sempre grazie all’aiuto delle ditte locali Cotto Possagno e Asole Costruzioni e Restauri, che hanno gentilmente messo a disposizione personale qualificato e mezzi meccanici di varia potenza e dimensione, è stato possibile procedere ad azioni commisurate alle necessità archeologiche e quindi sia rimuovere le terre di risulta accumulate nel sito in questi anni di ricerche, sia liberare completamente l’area della torre (J) dal crollo del 1989. Questo intervento, estremamente delicato, ha richiesto molto tempo non solo per la posizione arroccata del sito, ma soprattutto perché parte del deposito era costituito da porzioni murarie ancora coese, con peso stimato in taluni casi fino a 5000 kg.

L’intera operazione, nonostante abbia evidenziato una pressoché totale assenza di stratificazione antica, già asportata, salvo alcuni punti, dai militari durante la Grande Guerra, ha ugualmente consentito di identificare con precisione sia tutto il perimetrale settentrionale (e l’angolo di nord-ovest ancora ignoto), sia quello occidentale, di cui è possibile definire l’andamento originario basandosi sui circa 4 m conservati, nonché di rintracciare le fondazioni dell’angolo sud-orientale. Nonostante non sia ancora emerso l’angolare sud-occidentale (ammesso che ancora esista) è stato comunque possibile proporre una planimetria della torre, proiettando gli allineamenti murari superstiti. Emerge così un edificio quadrangolare, di forma sub-trapezoidale. Le misure, prese sui lati esterni, si aggirano intorno ai 15 m per il lato est, ai 13,60 m per quello nord, ai 16 m per quello ovest e ai 12 m per quello sud, mentre lo spessore delle murature varia tra 1,50-1,60 m, per raggiungere i 2,30 m circa in fondazione (FRASSINE 2008); l’area interna si può dunque stimare

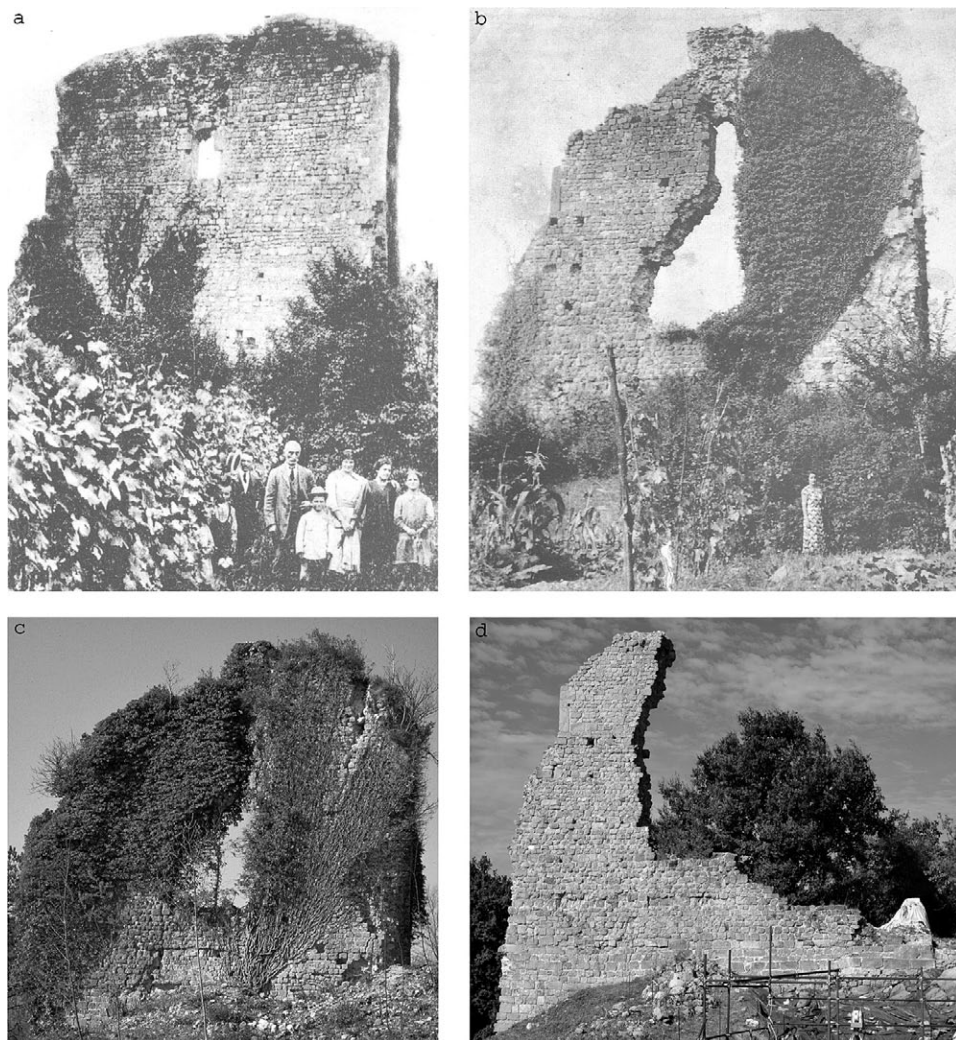


Fig. 3 – Perimetrale orientale della torre di Onigo, prospetto est: a) 1916 (da *Vecchie immagini di Onigo* 1991); b) 1930 (da *Vecchie immagini di Onigo* 1991); c) 1989, 23 marzo (foto B. Capraro); d) 2007, 25 luglio (foto M. Frassine).

intorno ai 117 mq per un'altezza attuale (misurata dal punto più basso della fondazione) di circa 19 m.

Per quanto concerne invece i crolli della torre, questi sono stati sistemati nella parte orientale del castello, tra le due cinte murarie, con i filari dei paramenti disposti in orizzontale, affinché fosse possibile eseguire sia un

rilievo fotografico metrico digitale, sia l’acquisizione mediante laser scanner. Il progetto, infatti, era volto non solo ad ottenere una documentazione precisa per realtà destinate, come già si è constatato, all’inesorabile degrado, ma anche all’anastilosi virtuale della torre prima in 2D e poi in 3D (cfr. *infra* § 3, 4).

Per fare ciò è stato necessario innanzitutto recuperare e digitalizzare ad alta risoluzione le immagini anteriori al crollo del 1989 (Fig. 3) per poi procedere ad un loro foto-raddrizzamento mediante il software FOSS (*Free and Open Source Software*) E-FOTO. Questo processo è stato applicato anche alle fotografie digitali di 10 lacerti murari più facilmente leggibili, per un totale di 20 raddrizzamenti. Tutte le immagini così ottenute sono state importate all’interno del programma GIS OPENJUMP, anch’esso appartenente alla gamma dei programmi FOSS, scelto per i buoni tool di grafica vettoriale disponibili. Il passaggio successivo è stato infatti quello di vettorializzare manualmente ogni singola pietra componente il paramento murario della facciata est, confrontando costantemente le immagini del 1916, del 1930 e del 1989, e differenziando, inoltre, in layer specifici le parti della torre sopravvissute dal 1916 ad oggi, da quelle restaurate nel 1998. La difficoltà maggiore in questo caso era la mancanza, per alcune porzioni del paramento, di una chiara definizione, a causa della qualità delle immagini. A nulla sono infatti serviti i tentativi di ingrandire la scala di visualizzazione dell’immagine per ricercare la massima puntualità nel disegno, né tanto meno alcuni ritocchi apportati alle zone specifiche attraverso l’alterazione dei toni e l’aumento dei contrasti di saturazione e luminosità (programma GIMP, FOSS).

A questo problema si è aggiunto quello della presenza dell’edera infestante, purtroppo talvolta coincidente con punti già poco definiti o indecifrabili nella foto del 1916, l’unica che ritrae il paramento in questione totalmente libero dalla vegetazione e integro nella sua quasi totalità. Pertanto, nella restituzione grafica si è preferito lasciare bianche quelle porzioni murarie difficilmente riconoscibili con oggettività (Fig. 4).

Effettuato questo lavoro, si è passati all’importazione nel GIS delle immagini rettificate dei lacerti murari crollati e, come per la torre, si è proceduto alla restituzione grafica vettoriale manuale di ogni singolo elemento componente il paramento. Trasformati quindi gli elementi raster in vector si è passati alla fase più lunga e complessa, ovvero quella del confronto tra le suddette porzioni murarie dei crolli e i filari costituenti la facciata orientale della torre. Un lavoro, come si diceva, impegnativo non solo per la quantità di dati a disposizione, ma anche perché ciascun paramento, pur mantenendo come linee guida i filari orizzontali, doveva essere confrontato prima secondo un orientamento e successivamente, in caso di mancato riscontro, ruotato di 180° per attuare una nuova ricerca; qualora poi non si fosse giunti al riconoscimento della sua posizione originaria, era necessario ripetere tutte le

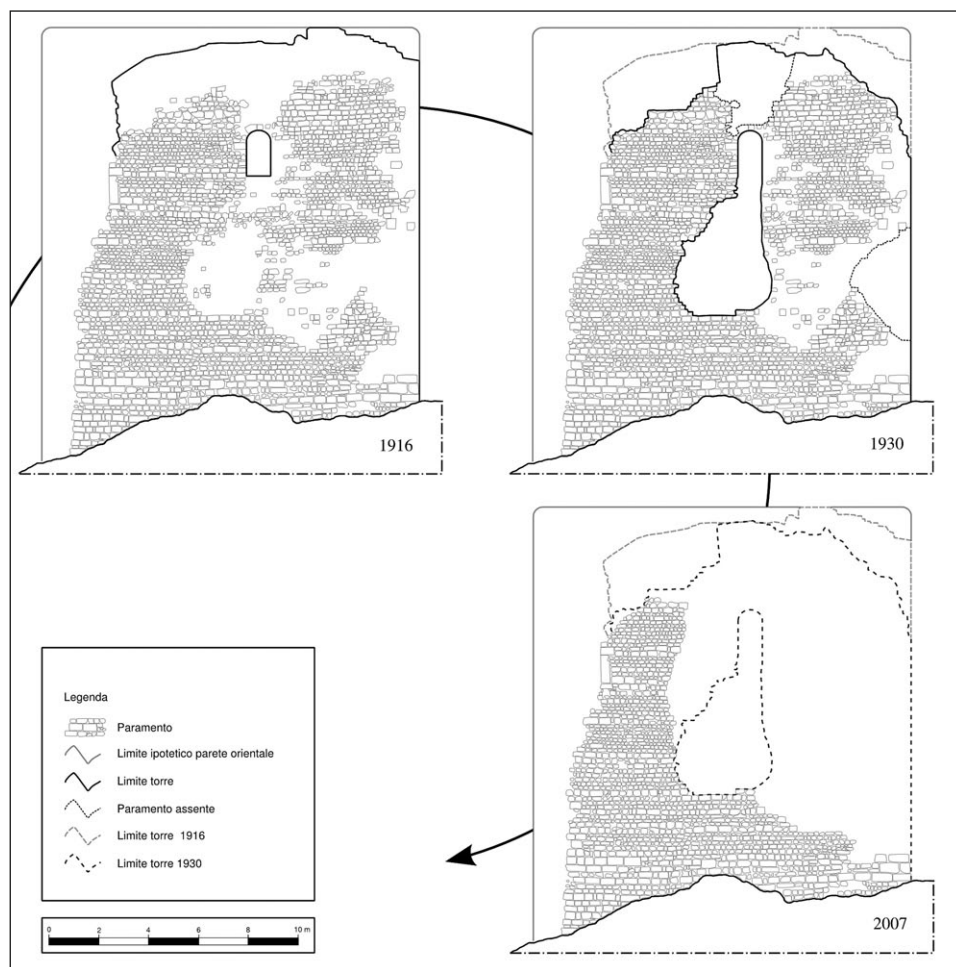


Fig. 4 - Ricostruzione diacronica delle fasi di crollo del perimetrale orientale della torre di Onigo sulla base delle immagini di Fig. 3 (studio ed elaborazione M. Frassine, A. Bezzi).

operazioni con il paramento in posizione speculare alla precedente. Si deve sottolineare che il risultato di tale operazione era tutt'altro che scontato, poiché nel crollo dell'estate 1989 fu coinvolta anche l'ultima porzione superstite del perimetrale settentrionale, certamente conservato fino ad allora, come testimoniano alcune immagini scattate prima del collasso, ma soprattutto una fotografia inedita datata al 23 maggio 1915 (Fig. 5).

Ciononostante, allo stato attuale dei lavori, il risultato ottenuto è decisamente soddisfacente: non solo infatti si sono puntualmente ricostruite le



Fig. 5 – Immagine inedita della torre di Onigo, datata 23 maggio 1915, in una rara ripresa da occidente (collezione privata S. Toso).

fasi più recenti dei cedimenti strutturali (Fig. 4), ma soprattutto si è riusciti a ricollocare ben 5 porzioni murarie su 10, di cui una mostra un attacco perfetto con la muratura superstita (Fig. 6).

Un procedimento analogo è stato tentato anche per la facciata ovest del perimetrale orientale. Il recupero dell'immagine del 1915 (Fig. 5), rara per il punto di ripresa da occidente, sembrava offrire la possibilità di colmare quei vuoti impossibili da ricostruire attraverso le fotografie della facciata orientale e quindi di ricollocare ulteriori blocchi. Tuttavia, nonostante l'acquisizione ad alta risoluzione, l'immagine (senza ovviamente negare il valore in sé del documento) risulta inutilizzabile sia per la scarsa leggibilità del paramento murario, sia per la mancanza di punti in comune, essenziali per una corretta sovrapposizione delle riprese antica e moderna. Quei punti, infatti, che potevano essere facilmente riconoscibili, sono scomparsi nel crollo del 1989 e il paramento oggi visibile è frutto di un ripristino, opportunamente segnalato, eseguito durante i restauri di fine anni Novanta. Allo stato attuale dunque la sovrapposizione di queste immagini può solo fornire indicazioni di massima e solo nuove fotografie storiche potranno davvero concorrere alla migliore ricostruzione dei paramenti.

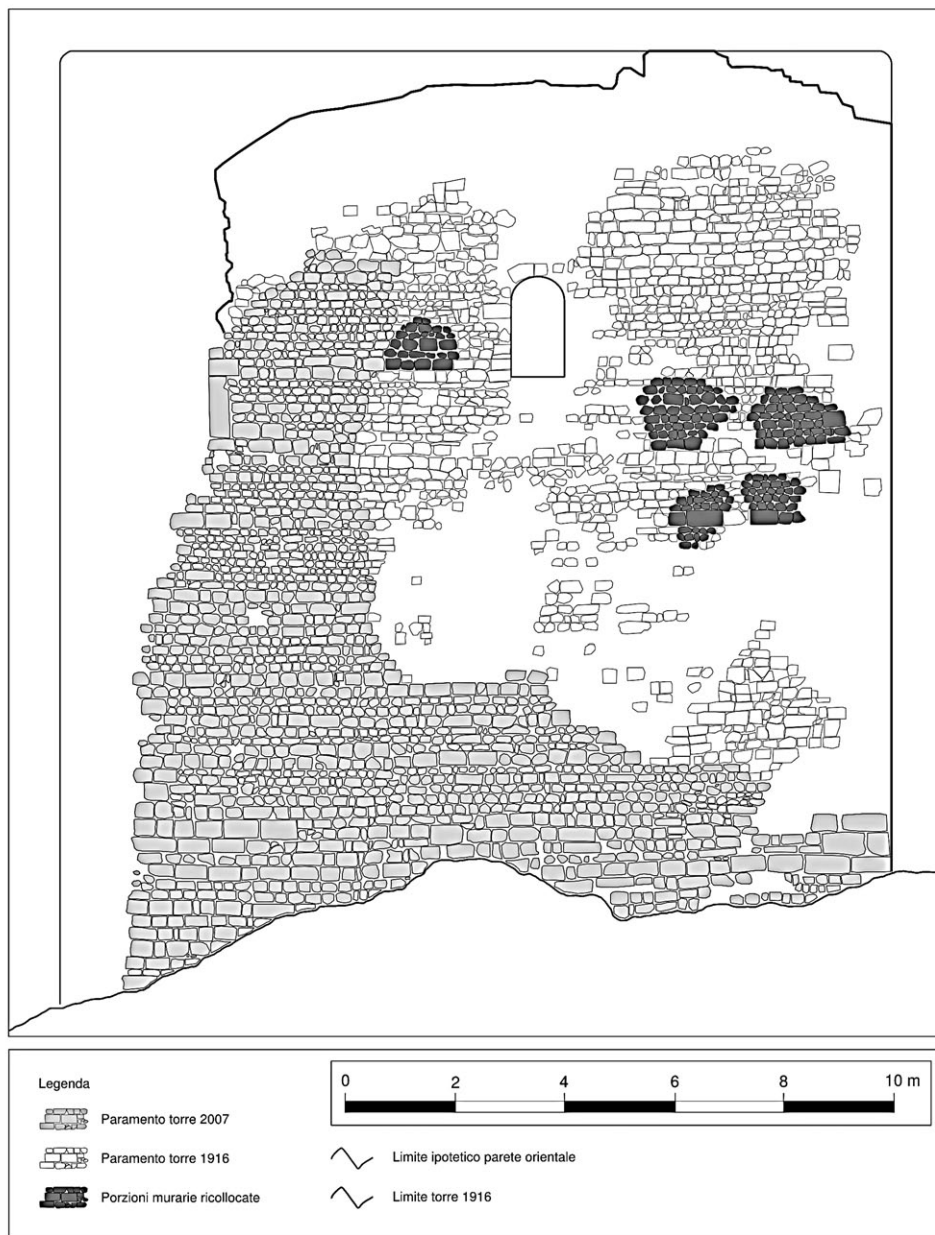


Fig. 6 – Ricostruzione del paramento orientale della torre di Onigo con i cinque crolli ricollocati virtualmente nella loro posizione originaria (studio ed elaborazione M. Frassine, A. Bezzi).

La finalità dell'intero progetto è quella di creare un modello virtuale 3D (reale e misurabile) non solo dell'edificio principale, ma anche del castello di Onigo nella sua totalità, così da avere una documentazione puntuale delle strutture, utile anche per interventi mirati di restauro. Tale supporto servirà inoltre alla creazione di un modello interattivo per il pubblico, dato che per il sito esiste già un progetto di parco archeologico in avanzato stato di definizione.

M.F.

3. MURA BASTIA: DALL'ACQUISIZIONE DEI DATI ALL'ELABORAZIONE INFORMATIZZATA, AL PROCESSO DI ANASTILOSI VIRTUALE BIDIMENSIONALE

Il progetto di ricollocamento dei blocchi di muratura, recuperati durante la campagna di scavo 2007, è stato possibile grazie ad un'accurata analisi storico-architettonica dell'alzato, che si è articolata in tre fasi di lavoro strettamente interconnesse tra loro.

Punto di partenza indispensabile è stato il recupero del materiale fotografico storico, che ha consentito di ottenere alcune immagini essenziali per una risoluzione positiva dello studio. Si tratta in particolare di due fotografie che ritraggono quasi frontalmente la facciata esterna della parete est della torre, la prima scattata nel 1916 e la seconda nel 1930 (Fig. 3a-b). Il lasso cronologico intercorso tra le due riprese, sebbene abbastanza ridotto, dimostra come in pochi anni l'aspetto della torre si sia modificato sia a causa di alcuni cedimenti strutturali sia per la crescita della vegetazione rampicante sempreverde (*hedera helix*). Proprio quest'ultimo elemento è causa di un disturbo (*noise*) che sarà presente in tutte le immagini successive al 1930, rendendole di fatto quasi inutilizzabili ai fini di uno studio comparativo della tessitura muraria. Se dunque la documentazione fotografica storica sinora recuperata permette di procedere ad un'analisi del prospetto est della torre, per quello ovest (cfr. *supra* § 2), allo stato attuale non è ancora possibile eseguire un lavoro analogo. La possibilità di recuperare nuovo materiale lascia comunque aperta la speranza di migliorare i risultati fin qui ottenuti.

La seconda fase dei lavori si è svolta direttamente sul campo, attraverso una campagna di acquisizione dati svolta in concomitanza con le operazioni di scavo archeologico. L'obiettivo primario era infatti volto al conseguimento di elementi utili ad uno studio metrico del perimetrale est della torre, con particolare attenzione alla facciata orientale di cui si possedeva, come si è detto, una migliore documentazione fotografica storica. Utilizzando una macchina fotografica digitale ad alta risoluzione (Nikon D80) sono quindi state effettuate le riprese frontali (orientale e occidentale) dei due prospetti del rudere, nonché di ogni singolo elemento di crollo, con paramento ancora integro, recuperato in buona parte dall'asportazione delle stratigrafie più superficiali interne alla torre stessa.

In associazione alla documentazione fotografica sono stati registrati, mediante stazione totale (Trimble 3600), alcuni punti di raddrizzamento misurati direttamente sulla superficie muraria. Per ogni unità fotografata è stato creato un apposito sistema di coordinate (sistema relativo o locale) ortogonale al paramento, che ha permesso, in fase di elaborazione digitale, di eseguire il raddrizzamento fotografico di piani verticali senza procedere a più complesse operazioni di traslazione di coordinate.

Infatti, attuando una semplice eliminazione della coordinata spaziale “Y” e, di conseguenza, trasformando il valore di quota “Z” nell’asse delle ordinate (operazione corrispondente ad una rotazione di 90° sull’asse delle ascisse di un sistema tridimensionale), è possibile ottenere una trasposizione di un piano verticale in una superficie orizzontale. Tale procedimento si rende necessario qualora, come nel nostro caso, si voglia effettuare un’analisi architettonica di un alzato utilizzando le potenzialità offerte dai software GIS, che sono caratterizzati da una visualizzazione aerea dei livelli informativi.

I dati così ottenuti sono stati rielaborati all’interno di stazioni computerizzate con installato un sistema operativo GNU/Linux. Nello specifico è stata adottata la distribuzione ArcheOS 2.0.0 (*Archeological Operating System*), liberamente scaricabile dal sito <http://www.arc-team.com/archeos/> (licenza GPL). Tale distribuzione, basata su Ubuntu 7.10, include diversi programmi FOSS selezionati per la loro validità nel soddisfare le differenti esigenze della ricerca archeologica (documentazione di scavo, studio e catalogazione dei reperti, analisi territoriale, etc.). L’elaborazione informatizzata dei dati è stata eseguita attraverso diversi passaggi che hanno coinvolto il software GIS GRASS (<http://grass.itc.it/>), il modulo *Image Rectification* della suite di stereorestituzione E-FOTO (<http://www.efoto.eng.uerj.br/>) ed infine il programma di grafica GIMP (<http://www.gimp.org/>). L’intero procedimento ha permesso di ottenere un’immagine rettificata per ognuna delle facciate di crollo rilevate sul campo⁶.

L’elaborato digitale del prospetto murario della torre è stato successivamente impiegato per il raddrizzamento delle fotografie storiche. Questa operazione, eseguita sulle due immagini del 1916 e del 1930 in cui l’edificio era ritratto, come già accennato, da un punto di vista abbastanza frontale, ha consentito di giungere ad un grado di precisione che abbiamo ritenuto valido per l’obbiettivo finale del nostro lavoro. Le immagini dei primi decenni del Novecento sono state quindi corrette metricamente, utilizzando come punti di controllo gli elementi strutturali corrispondenti tra la torre ripresa nello scatto e la porzione di edificio sopravvissuta al crollo del 1989. Per verificare

⁶ Il procedimento, ampiamente descritto all’interno del *Digital Archaeological Documentation Project*, è realizzato da Arc-Team s.n.c. per l’Università di Innsbruck ed è accessibile al seguente indirizzo: <http://wiki.uibk.ac.at/confluence/display/excavationtutor/>.

l'effettiva validità di questo procedimento, che implicava la sovrapposizione tra due fotografie con un basso valore di corrispondenza (*matching*) e con i punti di contatto localizzati quasi esclusivamente in un unico settore dell'immagine, sono stati eseguiti alcuni controlli che hanno convalidato la regolarità del metodo e dei dati prodotti. I due elaborati sono stati infatti confrontati in prima istanza con le informazioni ottenute dallo scavo archeologico, in particolare con la proiezione ideale dei limiti dell'edificio ricavabile dall'ampiezza delle fondazioni del rudere. Successivamente un ulteriore controllo è stato eseguito attraverso il raffronto con una ripresa della torre, antecedente al crollo, effettuata nella primavera 1989 (Fig. 3c), di cui si era riusciti ad ottenere un valido raddrizzamento. In entrambi i casi si è avuta una conferma dell'efficacia del procedimento utilizzato per la correzione prospettica e, di conseguenza, del valore metrico delle elaborazioni.

Tutte le immagini così ottenute sono state successivamente vettorializzate manualmente con l'intento di utilizzare, per la fase di comparazione, un supporto dati leggero e facilmente gestibile nelle operazioni spaziali di roto-traslazione.

Il processo di ricomposizione è avvenuto all'interno del software OPENJUMP (<http://openjump.org/>), una workstation GIS integrata con ottimi strumenti di disegno. All'interno di questo programma ogni singolo elemento di crollo vettorializzato è stato confrontato con i dati raster della torre, ridotti (attraverso il file di georeferenziazione) ad un unico valore di scala. La possibilità di spostare e ruotare gli elaborati vettoriali sovrapponendoli agli elementi di riferimento (immagini storiche), unita alle diverse funzioni di visualizzazione del dato offerte dal programma (trasparenza, scomparsa veloce e marcatura dei contorni) ha notevolmente agevolato il compito di comparazione. Il risultato finale del lavoro ha portato al ricollocamento di cinque blocchi di muratura su dieci documentati (Fig. 6). Allo stato attuale della ricerca risulta difficile riposizionare i restanti cinque blocchi la cui tessitura muraria è composta esclusivamente da filari di pietre di piccole dimensioni e non si esclude peraltro che possano appartenere al perimetrale nord della torre, collassato anch'esso nell'estate 1989. La qualità del materiale fotografico finora recuperato non ha un grado di risoluzione sufficiente da permette ulteriori analisi; nemmeno l'ausilio di software di vettorializzazione automatica (sono state infatti eseguite delle sperimentazioni con INKSCAPE e IMAGEJ) ha portato ad un perfezionamento del risultato.

Le prospettive future restano dunque legate direttamente al lavoro di recupero del materiale fotografico storico, risalendo il più possibile agli scatti originali delle immagini già note ed eventualmente entrando in possesso di nuovi dati.

A.B.

4. MURA BASTIA: IL RILIEVO 3D LASER SCANNING PER LA RICOSTRUZIONE VIRTUALE METRICA TEXTURIZZATA DELLA TORRE DI ONIGO

4.1 *Il rilievo 3D*

Negli ultimi anni i sistemi laser scanning terrestri, utilizzati per il rilievo tridimensionale, hanno trovato sempre maggiori applicazioni nei settori architettonico, archeologico e dei beni culturali per analisi strutturali, recupero e conservazione di edifici ed oggetti, nonché per finalità conoscitive e di catalogazione (BOEHLER *et al.* 2001; BITELLI 2002; PELOSO 2005; FABRIS *et al.* 2007a).

La metodologia laser scanning permette di acquisire grandi quantità di dati in tempi brevi e con precisioni elevate, dell'ordine dei millimetri o, per alcuni tipi di strumenti, anche sub-millimetriche: nelle applicazioni terrestri gli strumenti permettono il rilievo di tutte le superfici visibili da un determinato stazionamento. Tuttavia, la necessità di limitare le zone d'ombra e gli elementi in sottosquadro richiede di effettuare acquisizioni da differenti posizionamenti, non necessariamente intervistabili. Infatti, l'allineamento delle differenti scansioni, per ottenere il modello 3D finale dell'oggetto, avviene direttamente nella zona di sovrapposizione tra le nuvole di punti successivamente rilevate, oppure mediante l'integrazione con le metodologie topografiche classiche. In questo caso, prima di effettuare l'acquisizione, vengono predisposti opportuni target misurati sia mediante le tecniche laser scanning, sia mediante quelle topografiche rispetto ad un sistema di riferimento locale. Questo approccio è particolarmente indicato per gli allineamenti tra scansioni che non presentano sovrapposizioni reciproche (come, ad esempio, quando devono essere collegate le scansioni relative alle porzioni interna ed esterna della muratura di un edificio) (FABRIS *et al.* 2007b).

La precisione di un laser scanner terrestre dipende principalmente dal dispositivo che deflette l'impulso laser mediante piccole rotazioni secondo direzioni perpendicolari (in genere costituito da due specchi nella configurazione di galvanometro ottico); dalla portata, ossia dalla misura del "tempo di volo" o dal confronto delle fasi dei segnali di uscita ed entrata (nel caso dei laser scanner a triangolazione la portata diminuisce con il quadrato della distanza tra strumento ed oggetto); dalla risoluzione, intesa come la capacità di individuare piccoli oggetti nella nuvola di punti (in pratica la combinazione tra il più piccolo incremento dell'angolo tra due punti successivi e la dimensione dell'impronta del laser sull'oggetto); dagli effetti di bordo sugli oggetti, in corrispondenza ai quali sia i laser scanner a tempo di volo che quelli a triangolazione possono fornire un numero elevato di classi di punti definiti non corretti; dalla riflettività delle superfici (in genere superfici bianche presentano forti riflessioni); dalle condizioni ambientali (temperatura, atmosfera, etc.) (LICHTI *et al.* 2000; BALZANI *et al.* 2001; LICHTI, HARVEY 2002; BOEHLER *et al.* 2003; LICHTI, GORDON 2004; SCHULZ, INGENSAND 2004; WASKLEWICZ *et al.* 2004; STAIGER 2005).

L'integrazione tra i rilievi laser scanning e quelli fotogrammetrici ad alta risoluzione, effettuati con camere metriche, semimetriche o non metriche (KRAUS 1998), si realizza mediante l'operazione di texture mapping: in questo caso ogni singola immagine viene proiettata sulla porzione di modello tridimensionale corrispondente, ottenendo un prodotto fruibile in modo immediato ed interattivo grazie al completamento di informazioni fotorealistiche.

Il rilievo della torre, della cisterna e dei crolli è stato effettuato con il laser scanner Leica HDS (ex Cyrax) 2500 che fornisce una precisione di 4 mm per la misura della distanza e di 6 mm per la definizione del posizionamento nel caso di distanze laser scanner – oggetto da 1.5 a 50 m; nella misura degli angoli, invece, l'accuratezza è di 60 micro-radiani. Lo strumento può acquisire dati solo all'interno di una finestra di 40°×40° (*Field Of View* – FOV); questo limita la quantità di informazioni che possono essere registrate in una singola scansione, ma la possibilità di stazionare in punti diversi, di ruotare, alzare ed abbassare la testa dello strumento permette di coprire tutte le porzioni visibili ed eliminare, o comunque limitare, le zone d'ombra (FABRIS *et al.* 2008a).

Prima dell'acquisizione delle nuvole di punti della torre, sono stati predisposti sul perimetrale orientale opportuni target Leica retro-riflettenti ad elevata riflettività, 4 posizionati sulla facciata ovest ed altri 4 su quella est (si tratta di segnali blu con un disco centrale bianco delle dimensioni complessive di 7.5×7.5 cm). Con la scansione generale, lo strumento acquisisce la posizione dei segnali in maniera semi-automatica: il target viene individuato manualmente, anche in maniera grossolana, all'interno della nuvola di punti e, mediante scansioni di dettaglio ad alta risoluzione, il software interno allo strumento calcola le coordinate del baricentro dei singoli punti acquisiti e le attribuisce al centro del target, rispetto ad un sistema di riferimento con origine nel centro strumentale.

Gli 8 target sono stati successivamente misurati mediante metodologie topografiche classiche utilizzando la stazione integrata Leica TC 2003 che consente una precisione di 1 mm + 1 ppm nella misura della distanza e di 1.5^{cc} nella misura degli angoli: è stata progettata, materializzata e misurata, quindi, una rete locale di riferimento, studiata in modo da avvolgere la muratura presente. Le misure della rete, costituita da 7 vertici, sono state effettuate in modo sovrabbondante sia per gli angoli che per le distanze. Dopo aver misurato tale rete, stazionando su tutti i vertici, sono state effettuate le misure del centro di ogni target nel sistema di riferimento della rete topografica locale (in questo caso è stato sufficiente stazionare su due soli punti, un vertice per l'acquisizione delle coordinate dei 4 target sulla facciata ovest e l'altro per la misura dei target rimanenti sulla facciata est).

I segnali laser scanning sono stati posizionati solo nella parte più bassa della muratura, facilmente raggiungibile senza carrelli elevatori o ponteggi; in questo modo, le scansioni delle porzioni più alte sono state effettuate, senza

target, prevedendo sovrapposizioni di circa il 60% tra acquisizioni successive, mentre per quelle più basse, provviste di target, si è operato con sovrapposizioni di circa il 5÷10% al solo scopo di garantire la continuità di rilievo e rappresentazione: complessivamente sono state effettuate 10 scansioni con passo medio di acquisizione di 1 cm. Le informazioni radiometriche delle superfici sono state ottenute mediante un rilievo fotografico effettuato con la camera digitale metrica Canon EOS 1 – Ds Mark II, mentre le riprese sono state eseguite non solo dai posizionamenti del laser scanner, ma anche da altri punti per minimizzare le zone d'ombra (FABRIS *et al.* 2008b).

Il rilievo della cisterna, in prossimità della torre, è stato realizzato senza l'utilizzo dei target laser scanning: in questo caso le acquisizioni sono state effettuate prevedendo un'ampia sovrapposizione tra scansioni successive. Si è operato in modo da ottenere sovrapposizioni rilevanti anche tra le nuvole di punti della torre e quelle della cisterna, così da effettuare il successivo allineamento, per ottenere il modello globale 3D, nelle aree in comune alle differenti scansioni: in questo caso sono state acquisite complessivamente 9 scansioni da 3 angoli del perimetro superiore della cisterna, con passo medio di acquisizione di 1 cm. Inoltre, il rilievo fotografico metrico è stato effettuato con la stessa camera digitale e con le stesse modalità dell'acquisizione della torre.

I crolli sono stati rilevati seguendo una procedura analoga: in questo caso i blocchi sono stati posizionati ad opportuna distanza su un'area piana in modo da effettuare le acquisizioni di tutta la zona e non di ogni singolo blocco, riducendo così sensibilmente il numero di scansioni complessive. Dopo aver effettuato il rilievo di tutte le porzioni visibili, per l'acquisizione delle superfici appoggiate sul terreno, e di conseguenza non scansate nella prima fase, è stato necessario ribaltare i crolli e, per alcuni, effettuare delle opportune rotazioni allo scopo di ridurre le zone d'ombra. Non sono stati utilizzati target laser scanning ma le scansioni sono state realizzate prevedendo sovrapposizioni anche superiori al 60%. In totale sono stati acquisiti 9 blocchi (quelli che presentavano dimensioni più rilevanti, mediamente superiori ad 1 m³) realizzando 31 scansioni da 11 stazionamenti differenti con passo medio di acquisizione di 5 mm: la complessità morfologica dei blocchi e la necessità di dover acquisire gli stessi spigoli da stazionamenti differenti per facilitare l'algoritmo di allineamento delle scansioni, infatti, ha imposto di operare alla massima risoluzione strumentale (compatibilmente anche con le precisioni che fornisce il laser scanner, ossia circa 5 mm). Il rilievo fotografico è stato effettuato, analogamente ai casi precedenti, sia dai punti di stazionamento del laser scanner che da altre postazioni geometricamente compatibili, acquisendo tutte le superfici di ogni singolo blocco.

4.2 Generazione dei modelli

Per l'estrazione dei modelli 3D della torre, della cisterna e di ogni singolo blocco rilevato, è stato necessario allineare le singole nuvole di punti laser

scanning acquisite. La co-registrazione delle scansioni, mediante il software *Cyclone 5.4*, può essere fatta secondo tre metodi differenti: *cloud registration*, *target registration* e *survey registration*. Nel primo caso le due nuvole di punti vengono allineate nella zona di sovrapposizione che, pertanto, dovrà essere sufficientemente ampia (almeno il 40%): operativamente, le scansioni vengono avvicinate tramite la misura di almeno tre punti omologhi caratteristici, ben visibili in entrambe le nuvole di punti; successivamente, l'applicazione dell'algoritmo ICP (*Interactive Closest Points*) permette l'adattamento raffinato delle due scansioni: in questo caso la co-registrazione tra le nuvole di punti viene realizzata confrontando le posizioni relative di punti omologhi. Nelle scansioni avvicinate l'algoritmo ricerca, per ogni punto di una scansione, il corrispondente più vicino nell'altra, ed utilizza i due punti omologhi per determinare la nuova posizione relativa tra le due scansioni: il processo è iterativo e la convergenza si verifica quando la distanza relativa tra le due nuvole di punti è minore di un valore di soglia definito dall'operatore (BESL, MCKAY 1992; CHEN, MEDIONI 1992; BERGEVIN *et al.* 1996; RUSINKIEWICZ, LEVOY 2001). Nella modalità *target registration*, l'allineamento tra le scansioni avviene in corrispondenza dei target: in questo caso, la percentuale di sovrapposizione tra acquisizioni contigue può essere inferiore (circa 30%) rispetto alla precedente, in quanto la co-registrazione viene effettuata direttamente sui target (rilevati dal laser scanner mediante nuvole di punti dettagliate, ad alta risoluzione). Nel terzo caso, l'allineamento viene realizzato sui target georiferiti: mediante l'integrazione con le metodologie topografiche classiche, il centro di ogni singolo target viene misurato in un sistema di riferimento locale; successivamente, le coordinate calcolate vengono imposte ai segnali rispettivi, ottenendo la co-registrazione della nuvola di punti nello stesso sistema di riferimento.

Nel caso dell'allineamento delle scansioni della torre, provviste di target, la georeferenziazione è stata effettuata direttamente sui segnali laser scanning in modalità *survey registration*. Le coordinate dei singoli target sono state ottenute dall'elaborazione della rete topografica locale. Utilizzando il software *StarNet*, le coordinate dei vertici della rete sono state compensate secondo la procedura “rete libera” senza vincolare alcun punto: in questo modo sono state ottenute le coordinate dei vertici rete con scarti quadratici medi, che indicano la precisione nella determinazione dei punti, inferiori ad 1 mm. Successivamente, le coordinate dei target sono state calcolate fissando i vertici delle stazioni corrispondenti; in questo modo è stato possibile ottenere le coordinate di tutti i segnali rispetto ad un medesimo sistema di riferimento locale. L'allineamento delle scansioni provviste di target è stato effettuato con lo scopo di roto-traslare le nuvole di punti nel sistema di riferimento dei punti d'appoggio; in questo caso è stato ottenuto un errore di mosaicatura massimo di 1 mm. Le scansioni sprovviste di target sono state quindi co-registrate con

quelle precedentemente georiferite avvicinandole su punti naturali ben visibili ed applicando quindi l'algoritmo ICP (modalità *cloud registration*). Anche le scansioni relative alla cisterna e all'area di passaggio tra torre e cisterna sono state allineate in modalità *cloud registration*: la possibilità di operare su rilevanti superfici di sovrapposizione tra una scansione e l'altra (anche superiore al 60%), ha permesso di applicare la procedura di co-registrazione raffinata ICP su zone ampie e su superfici con caratteristiche morfologiche complesse, ottenendo allineamenti con errore di mosaicatura massimo di 4 mm; l'errore risulta superiore a quello che si ottiene in modalità *survey registration*, ma inferiore al passo di griglia medio delle scansioni acquisite (10 mm).

Le scansioni relative ai crolli sono state allineate senza target: in questo caso la co-registrazione è stata effettuata avvicinando le nuvole di punti successive su punti naturali omologhi ben visibili nella zona di sovrapposizione e poi applicando l'algoritmo ICP per migliorare il risultato (modalità *cloud registration*). È da sottolineare come gli allineamenti non siano stati effettuati per ogni singolo blocco, ma sull'intera area rilevata (ogni scansione, acquisita con passo di campionamento medio di 5 mm, descrive porzioni di superfici anche di due-tre crolli contemporaneamente). Dopo aver allineato le scansioni dell'intera area occupata dai blocchi, prima e dopo il capovolgimento degli stessi (per il corretto rilievo delle superfici precedentemente appoggiate sul terreno), si è proceduto operando per ogni singolo crollo. Per ottenere il modello 3D, le due scansioni principali sono state separate per ogni blocco e, successivamente, sono state allineate nelle porzioni comuni, blocco per blocco; anche in questo caso, per la co-registrazione delle due scansioni di ogni crollo sprovviste di target laser scanning, è stata adottata la modalità *cloud registration*, lavorando direttamente nella zona di sovrapposizione tra ogni coppia di scansioni che descrivono il generico blocco. In questo caso l'errore massimo di mosaicatura è risultato pari a 6 mm. Alla fine, sono stati generati i modelli 3D finali della torre e della cisterna (collegati in un modello unico, Tav. IXa, Fig. 7) e di ogni singolo crollo. Solo per un blocco non è stato possibile effettuare l'allineamento delle scansioni a causa dell'esigua superficie in comune.

4.3 *Texturizzazione sul modello 3D finale*

L'integrazione tra un modello digitale tridimensionale e l'informazione radiometrica, ottenuta mediante acquisizioni fotografiche ad alta risoluzione, permette di aggiungere informazioni fotorealistiche al modello 3D, ottenendo un prodotto fruibile in modo immediato ed interattivo (FABRIS *et al.* 2007c).

Dal modello tridimensionale per nuvola di punti (del complesso torre-cisterna, come di ogni singolo blocco), mediante il software *Reconstructor 2* sono state estratte mesh triangolari, generando quindi un modello costituito

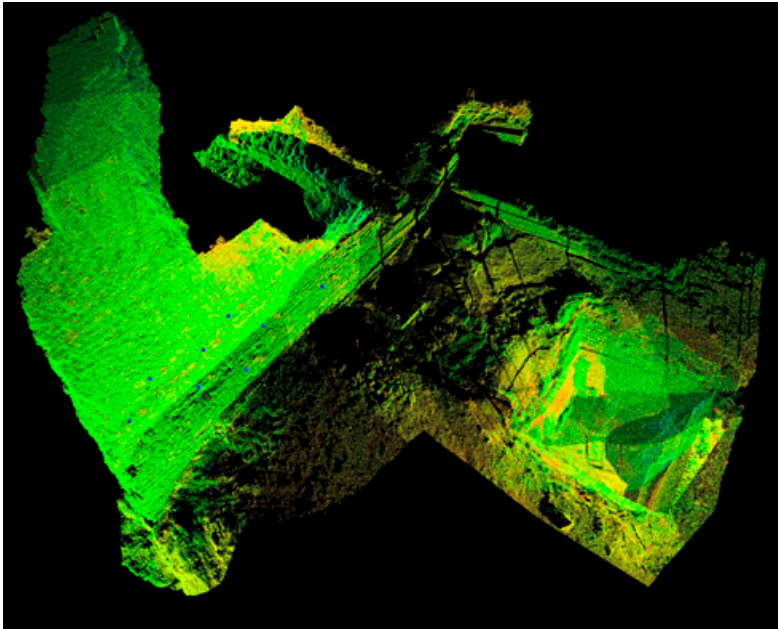


Fig. 7 – Visualizzazione generale del complesso degli alzati rilevati mediante il laser scanner: sono identificabili la torre (a sinistra) e la cisterna (a destra).

da superfici; su questo sono state proiettate le singole immagini misurando punti omologhi tra modello 3D ed immagine corrispondente, ottenendo così la mappatura della texture. In Fig. 8 viene presentato, come esempio, il modello 3D di un crollo come nuvola di punti (a) e come risultato della texturizzazione (b).

4.4 Ricostruzione virtuale

Per effettuare l’anastilosi virtuale della torre è necessario collocare i blocchi rilevati nella posizione che essi avevano prima dei crolli. Si tratta quindi di roto-traslare ogni singolo blocco dal sistema di riferimento locale, solidale ad ogni crollo, al sistema di riferimento dei target laser scanning, solidale quindi con il modello globale degli alzati ancora conservati: questa operazione è stata effettuata con il software *Reconstructor 2*. La determinazione della posizione dei blocchi è stata realizzata sulla base del modello 2D (Fig. 6) ottenuto dallo studio comparato delle fotografie storiche (cfr. *supra* § 2, 3). Dall’analisi della tessitura muraria con pietre sbazzate e delle superfici di ogni blocco, è stato possibile individuare i crolli corrispondenti ed il loro orientamento interno/esterno. In questo modo sono stati individuati 5 crolli:

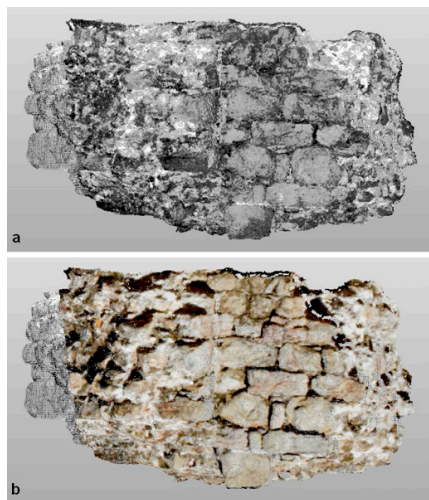


Fig. 8 – Rappresentazione mediante nuvola di punti di un blocco ad angolo (a) e della relativa texturizzazione (b).

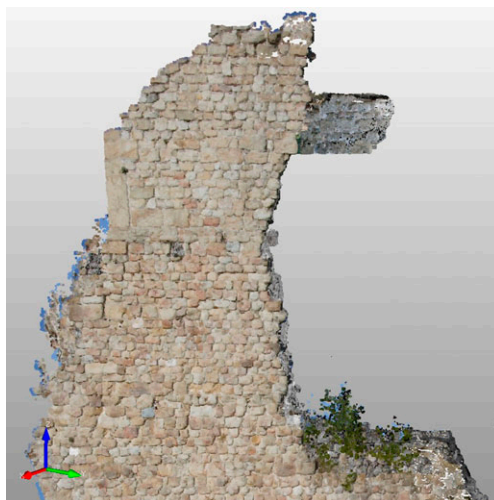


Fig. 9 – Particolare del modello della torre texturizzato con il posizionamento virtuale dell'unico blocco direttamente collegato.

purtroppo uno di essi non è stato acquisito, mentre dal rilievo di un altro non è stato possibile generare il modello tridimensionale. Naturalmente il fotopiano è bidimensionale, quindi non fornisce nessuna informazione sulla verticalità della torre, presenza di elementi disallineati con la parete, etc. Non potendo ricavare queste informazioni, si è ipotizzata la planarità della superficie stessa.

Per quanto riguarda l'unico blocco adiacente alla torre, solo in questo caso è stato possibile allineare i due modelli in corrispondenza all'unica superficie di contatto (torre-blocco) in modalità *cloud registration* (Tav. IXb, Fig. 9). Il risultato finale della co-registrazione di un blocco e della roto-traslazione degli altri due sul modello 3D della torre e della cisterna è rappresentato in Fig. 10, mentre in Fig. 11 è visualizzato il particolare del crollo corrispondente ad una porzione di alzato relativo all'angolo nord-occidentale della torre.

4.5 Conclusioni

Il problema dell'anastilosi virtuale metrica di oggetti è stato affrontato sui crolli e sugli alzati ancora conservati della torre della Bastia di Onigo: a questo scopo, sono state utilizzate ed integrate metodologie laser scanning terrestri e topografiche classiche per il rilievo dei crolli e del complesso torre-cisterna. Dopo aver ottenuto i modelli 3D, la ricostruzione è stata effettuata basandosi sul modello 2D ottenuto dall'analisi comparata di immagini attuali e di fotografie "storiche" rappresentanti la facciata orientale della torre, dove erano stati ricollocati, attraverso lo studio delle tessiture murarie, 5 blocchi.

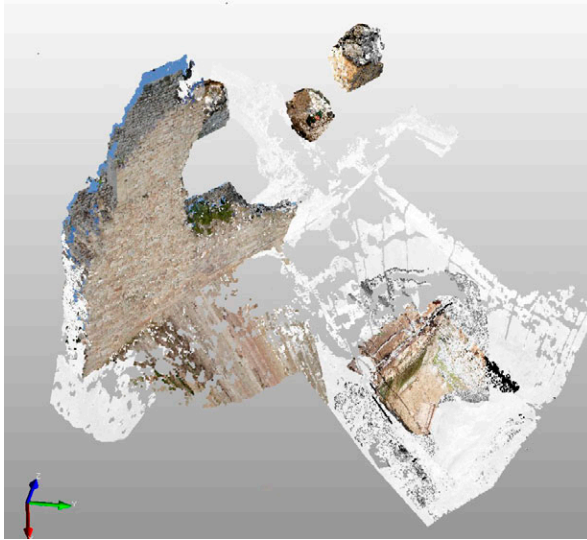


Fig. 10 – Rappresentazione generale della porzione rilevata, visualizzata come nuvola di punti (in grigio), texture mapping (mediante immagini RGB) e con il posizionamento virtuale dei 3 blocchi sul modello finale.

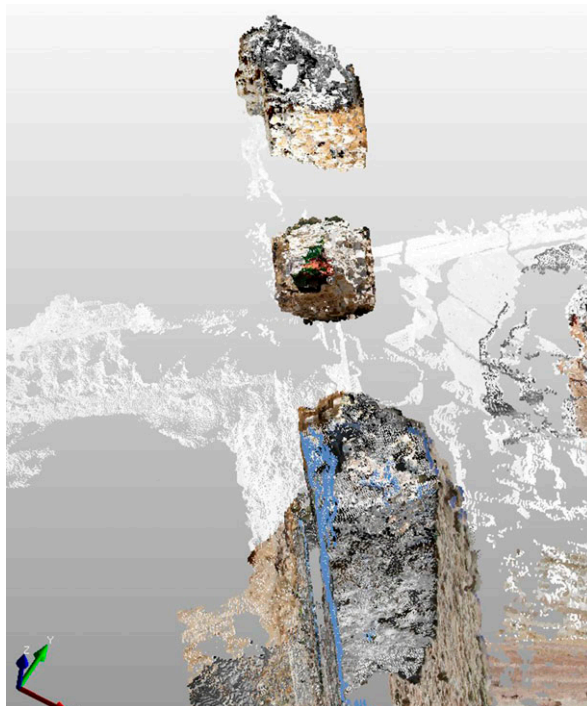


Fig. 11 – Particolare del modello 3D ricostruito e texturizzato con evidenziato il blocco ad angolo nella porzione superiore della torre. Il crollo ad angolo risulta in corrispondenza degli alzati presenti alla base.

Di questi, uno non è stato rilevato mentre un altro non è stato completamente acquisito; l'anastilosi parziale è stata quindi effettuata con tre crolli, uno dei quali adiacente ad una porzione della torre. La roto-traslazione dei rispettivi sistemi di riferimento ha permesso quindi di collocare virtualmente i blocchi nella loro posizione originaria, dimostrando la validità della procedura. In questo modo è possibile ricostruire virtualmente oggetti di diverse forme e dimensioni dai rilievi tridimensionali di ogni singolo elemento.

M.F., V.A., D.B.

MATTEO FRASSINE, GUIDO ROSADA

Dipartimento di Archeologia
Università degli Studi di Padova

MASSIMO FABRIS, VLADIMIRO ACHILLI, DENIS BRAGAGNOLO

Laboratorio di Rilevamento e Geomatica
Dipartimento di Architettura, Urbanistica e Rilevamento
Università degli Studi di Padova

ALESSANDRO BEZZI

Arc-Team s.n.c.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare coloro che hanno consentito lo svolgersi delle attività di ricerca in tutti questi anni: la Regione Veneto, il Comune di Pederobba, la fondazione Opere Pie e le ditte locali Cotto Possagno e Asolo Costruzioni e Restauri. Si desidera inoltre ringraziare il prof. Bruno Capraro per la disponibilità dimostrata nel fornire alcuni scatti fotografici inediti antecedenti al crollo della torre e per le informazioni preziose sulla recente cronistoria locale che ha interessato il sito Mura Bastia. Un sentito grazie anche al sig. Sergio Toso per avere gentilmente messo a disposizione l'immagine inedita del 1915 ed averne permesso la pubblicazione; all'assessore alla Cultura del Comune di Pederobba, prof. Agostino Vendramin, va la nostra riconoscenza per il fattivo aiuto nel recupero di questo prezioso documento. Infine, gli autori desiderano ringraziare la dott.ssa Ginevra Boatto e l'ing. Andrea Menin del Laboratorio di Rilevamento e Geomatica dell'Università di Padova per il contributo fornito nell'acquisizione e nell'elaborazione dei dati laser scanning.

BIBLIOGRAFIA

- BALZANI M., PELLEGRINELLI A., PERFETTI N., UCCELLI F. 2001, *A terrestrial 3D laser scanner: Accuracy tests, Proceedings of the XVIII CIPA International Symposium (Potsdam 2001)*, CIPA Heritage Documentation, 445-453.
- BERGEVIN R., SOUCY M., GAGNON H., LAURENDEAU D. 1996, *Towards a general multi-view registration technique, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 18, 5, 540-547.
- BESL P.J., MCKAY N.D. 1992, *A method for registration of 3-D shapes, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14, 2, 239-256.
- BITELLI G. 2002, *Moderne tecniche e strumentazioni per il rilievo dei beni culturali, Atti della 6ª Conferenza Nazionale ASITA (Perugia 2002)*, Perugia, Maggioli, 1, IX-XXIV.
- BOEHLER W., BORDAS VICENT M., MARBS A. 2003, *Investigating laser scanner accuracy, Proceedings of the XIX CIPA International Symposium (Antalya 2003)*, CIPA Heritage Documentation, 696-702.

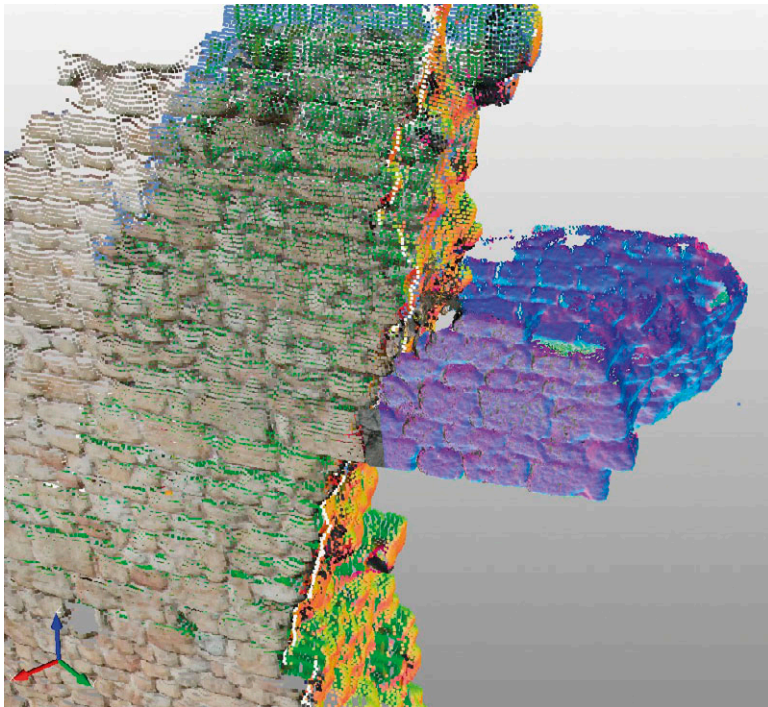
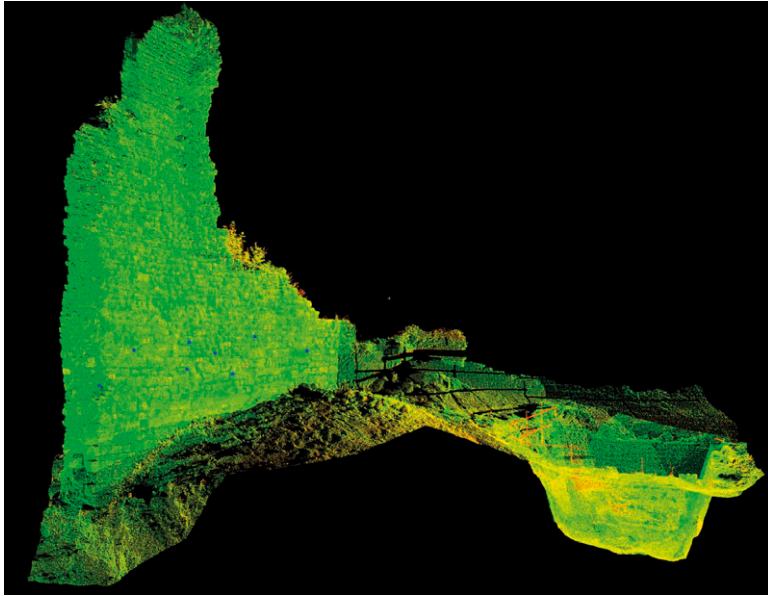
- BOEHLER W., HEINZ G., MARBS A. 2001, *The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage recording*, *Proceedings of the XVIII CIPA International Symposium (Potsdam 2001)*, CIPA Heritage Documentation (<http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/potsdam/2001-11-wb01.pdf>).
- BONIFACCIO G. 1744, *Istoria di Trivigi, Historiae urbium et regionum Italiae rarioris*, LXXXII, Venezia (rist. 1968, Sala Bolognese – Bologna).
- CAGNIN G. 1996, *Il “Castrum Vetus” ed il “Castrum Novum” di Onigo nel secolo XIV*, «Quaderni di Archeologia del Veneto», 12, 135-142.
- CERCHIARO K. 2003, *Settore G*, in *Onigo 2003*, 74-77.
- CERCHIARO K. 2004, *Il settore G*, in *Onigo 2004*, 55-56.
- CHEN Y., MEDIONI G. 1992, *Object modeling by registration of multiple range images*, «Image and Vision Computing», 10, 3, 145-155.
- COLAUTTI C. 1996, *Saggi D, E, F*, in *Onigo 1996*, 41-46.
- ERCOLINO R. 2004, *Settore H*, in *Onigo 2004*, 49-54.
- ERCOLINO R. 2005, *Settore H*, in *Onigo 2005*, 75-78.
- ERCOLINO R. 2006, *L'area ad oriente della torre (Settore H)*, in *Onigo 2006*, 70.
- ERCOLINO R. 2007a, *Settore H*, in *Onigo 2007*, 60.
- ERCOLINO R. 2007b, *La cosiddetta “torre”: mastio o edificio residenziale?*, in *Onigo 2007*, 62-65.
- ERCOLINO R., RIERA I. 1995, *Considerazioni*, in *Onigo 1995*, 44-46.
- FABRIS M., ACHILLI V., BRAGAGNOLO D., MENIN A., SALEMI G. 2007a, *Filling lacunas in terrestrial laser scanning data: the “Cavallo ligneo” of the “Palazzo della Ragione” (Padua, Italy)*, *Proceedings of the XXI CIPA International Symposium (Athens 2007)*, CIPA Heritage Documentation, 301-306.
- FABRIS M., ACHILLI V., BRAGAGNOLO D., MENIN A., SALEMI G. 2007b, *Laser scanning methodology for the structural modelling*, *Proceedings of the XXI CIPA International Symposium (Athens 2007)*, CIPA Heritage Documentation, 307-310.
- FABRIS M., ACHILLI V., BRAGAGNOLO D., MENIN A., ONGARATO F., SALEMI G. 2007c, *Analisi di procedure per texture mapping. Test site: il cortile cinquecentesco del palazzo del Bo a Padova*, *Atti della XI Conferenza Nazionale ASITA (Torino 2007)*, 1, 1039-1044.
- FABRIS M., ACHILLI V., BOATTO G., BRAGAGNOLO D., MENIN A. 2008a, *Metodologie e strumenti per il rilievo 3D*, in *Onigo 2008*.
- FABRIS M., ACHILLI V., BOATTO G., BRAGAGNOLO D., MENIN A. 2008b, *Il rilievo 3D dei resti della torre, della cisterna e dei crolli*, in *Onigo 2008*.
- FARRONATO G. (ed.) 1997, *Pergamene antiche dei nobili trevigiani conti di Onigo (sec. XIII-XVIII)*, I. *L'epoca preveneziana (1216-1338)*, II. *La prima dominazione veneziana (1339-1365)*, Cornuda (Treviso).
- FARRONATO G. 1998, *I Collalto fra Brenta e Piave. Le famiglie degli Onigo e dei da Fossalta Maggiore, note di un saggio dalle pergamene degli Onigo dei secoli XIII e XIV*, in *I Collalto: conti di Treviso, patrizi veneti, principi dell'Impero, 958-1998, Atti del Convegno (Castello di San Salvatore, Susegana 1998)*, Vittorio Veneto (Treviso), 53-67.
- FIORINO F. 1999, *Il consolidamento statico dei resti della torre e il restauro delle mura*, in *Onigo 1999*, 26-32.
- FIORINO F. 2003, *Frammenti materiali e unità di progetto: il restauro della Bastia di Onigo*, in F. FIORINO (ed.), *Siti fortificati medievali nel Pedemonte tra Brenta e Piave. Conoscenza, restauro e valorizzazione di un sistema storico e ambientale*, Venezia, 244-251.
- FRASSINE M. 2005, *Settore G*, in *Onigo 2005*, 72-75.
- FRASSINE M. 2006, *La cisterna-pozzo (Settore G)*, in *Onigo 2006*, 65-70.
- FRASSINE M. 2007a, *Introduzione*, in *Onigo 2007*, 60.
- FRASSINE M. 2007b, *Settore H ambiente 200*, in *Onigo 2007*, 60-62.

- FRASSINE M. 2008, *Una campagna di passaggio, una svolta per il sito 'Mura Bastia'*, in *Onigo* 2008.
- FUSATO L., SARTOR A., VENDRAMIN A. 1986, *Onigo: la pieve il castello la sua gente*, Cornuda (Treviso) (rist. 1990).
- GATARI 1909-1931 = GATARI G., GATARI B., *Cronaca carrarese: confrontata con la redazione di Andrea Gatari (aa. 1318-1407)*, in A. MEDIN, G. TOLOMEI (eds.), *Rerum Italicarum Scriptores*, Bologna.
- KRAUS K. 1998, *Fotogrammetria*, 1, Torino.
- LICHTI D., STEWART M.P., TSAKIRI M., SNOW A.J. 2000, *Calibration and testing of a terrestrial laser scanner*, «International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing», XXXIII, Part B5, 485-492.
- LICHTI D., GORDON J. 2004, *Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording*, *Proceedings of FIG Working Week (Athens 2004)* (http://www.fig.net/pub/athens/papers/wsa2/WSA2_6_Lichti_Gordon.pdf).
- LICHTI D., HARVEY B. 2002, *The effects of reflecting surface material properties on time-of-flight laser scanner measurements*, *Proceedings of the Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications (Ottawa 2002)*.
- Onigo* 1995 = A.N. RIGONI (ed.), *Onigo: scavi nel castello in località "Mura della Bastia"*, «Quaderni di Archeologia del Veneto», 11, 38-47.
- Onigo* 1996 = A.N. RIGONI (ed.), «Mura della Bastia» di *Onigo (Comune di Pederobba): scavo 1995*, «Quaderni di Archeologia del Veneto», 12, 41-48.
- Onigo* 1997 = A.N. RIGONI (ed.), *Mura della Bastia di Onigo: relazione preliminare dell'indagine 1996*, «Quaderni di Archeologia del Veneto», 13, 32-34.
- Onigo* 1999 = *Interventi presso la Bastia di Onigo*, «Quaderni di Archeologia del Veneto», 15, 25-32.
- Onigo* 2003 = A. MARCHIORI (ed.), *Onigo (Treviso) 2002: ripresa degli scavi del castello in località "Mura della Bastia"*, «Quaderni di Archeologia del Veneto», 19, 74-83.
- Onigo* 2004 = G. ROSADA (ed.), *Pederobba – Onigo (Treviso): Mura della Bastia. Scavo delle strutture e del deposito medievale: campagna 2003*, «Quaderni di Archeologia del Veneto», 20, 47- 56.
- Onigo* 2005 = G. ROSADA (ed.), *Onigo (Treviso): Mura della Bastia. Scavo delle strutture e del deposito medievale: campagna 2004*, «Quaderni di Archeologia del Veneto», 21, 72-79.
- Onigo* 2006 = G. ROSADA (ed.), *Onigo (Treviso): Mura della Bastia. Campagna 2005*, «Quaderni di Archeologia del Veneto», 22, 65-71.
- Onigo* 2007 = G. ROSADA (ed.), *Onigo (Treviso): Mura della Bastia. Campagna 2006*, «Quaderni di Archeologia del Veneto», 23, 60-67.
- Onigo* 2008 = M. FRASSINE, G. ROSADA (ed.), *Onigo (Treviso): Campagna 2007. Scavo archeologico e rilievo 3D laser scanning di 'Mura Bastia'*, «Quaderni di Archeologia del Veneto», 24, in corso di stampa.
- PELOSO D. 2005, *Tecniche laser scanner per il rilievo dei beni culturali*, «Archeologia e Calcolatori», 16, 199-224.
- RANDO D. 1989, *Contado, comune, chiesa cittadina nelle vicende dei da Vidor dei secoli XI-XIII*, in D. GASPARINI (ed.), *Due villaggi della collina trevigiana Vidor e Colbertaldo*, 2, *Il Medioevo. Secoli XI-XIV*, Treviso, 45-61.
- RIERA I., VENTURINI I. 1995, *Saggio B e ampliamenti*, in *Onigo* 1995, 43-44.
- ROSADA G., RIGONI A.N. 1998, *Propter metum et per forciam: il caso di Onigo e le fortificazioni di epoca ezzeliniana nell'alto trevigiano*, in S. PATITUCCI UGGERI (ed.), *Scavi medievali in Italia, Atti della prima Conferenza di Archeologia Medievale (Cassino 1995)*, Roma-Freiburg-Wien, 199-226.

- RUSINKIEWICZ S., LEVOY M. 2001, *Efficient variants of the ICP algorithm*, in *Proceedings of the Third International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling (Quebec City 2001)*, 145-152.
- SCHULZ T., INGENSAND H. 2004, *Influencing Variables, Precision and Accuracy of Terrestrial Laser Scanners*, *Proceedings of INGEO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying (Bratislava 2004)* (http://www.group.slac.stanford.edu/met/Align/Laser_Scanner/SchulzT_TS2_Bratislava_2004.pdf).
- SETTIA A.A. 1984, *Castelli e villaggi nell'Italia Padana: popolamento, potere e sicurezza fra IX e XIII sec.*, Napoli.
- STAIGER R. 2005, *The Geometrical Quality of Terrestrial Laser Scanner (TLS)*, *Proceedings of Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8 (Cairo 2005)* (http://www.fig.net/pub/cairo/abstracts/ts_38/ts38_05_staiger_abs.pdf).
- Vecchie immagini di Onigo. Raccolta di 115 foto dalla fine del 1800 al 1966 con alcune immagini di storia recente*, a cura del Centro Giovani Onigo, Onigo (Treviso) 1991.
- VERCI G. 1779, *Storia degli Ecelini, I-III*, Bassano del Grappa (Vicenza).
- VERCI G. 1786-1791, *Storia della Marca Trivigiana e Veronese, I-XX*, Venezia (rist. 1979-1983 Sala Bolognese – Bologna).
- WASKLEWICZ T., STALEY D., VOLKER H., WHITLEY D. 2004, *Terrestrial 3D Laser Scanning: A New Method for Recording Rock Art* (http://geography.memphis.edu/thad/nsf/articles/Wasklewicz_INORA.pdf).

ABSTRACT

The paper presents the results of the ongoing research coordinated by the Chair of Ancient Topography, University of Padova. The work concerns the medieval site of “Mura della Bastia” in Onigo di Pederobba (Treviso), in the North-Eastern part of Italy. Historical information from written documents and results obtained from the archaeological investigation at the Onigo castle (1994-2007) are discussed. The study provided the historical reconstruction of recent collapses of the Onigo tower and allowed the virtual reconstruction of still-cohesive blocks, which had fallen down in 1989, and which were recovered during the summer of 2007. At this time, five of the ten building blocks have been positioned; the procedure was carried out by comparing the panoply of each agglomerate with the prospect of the tower, which was obtained from the photogrammetric rectification of the historical images (2D). The 3D survey of the tower and of nine blocks was performed with a Leica HDS 2500 laser scanner. The resulting point clouds were aligned with Cyclone software, also using the coordinates of some laser scanning targets, which were measured with the Leica TC 2003 total station in a local reference system. The final 3D model obtained by the co-registration of the scans was textured with the digital images acquired with a Canon EOS 1 ds Mark II camera. Subsequently, three of the five recognized blocks were positioned on the 3D model using Reconstructor software.



Tav. IX – a: “Mura della Bastia”. Modello finale 3D per nuvola di punti ottenuto dall’allineamento di tutte le scansioni del complesso torre-cisterna con evidenziati i target laser scanning (in blu) (FRASSINE *et al.*, p. 314).
b: “Mura della Bastia”. Visualizzazione 3D in falsi colori dell’adattamento tra le superfici del modello della torre e di quelle del blocco adiacente (FRASSINE *et al.*, p. 316).