

## Rilievo integrato presso il Borgo Schirò (PA)

### *Rilievo integrato presso il Borgo Schirò (PA)*

Gino DARDANELLI <sup>a</sup>

M. FILIPPI <sup>a</sup>

S. PALIAGA <sup>a</sup>

<sup>a</sup> DICAM – Dipartimento di Ingegneria  
Civile, Ambientale, Aerospaziale dei  
Materiali, Università di Palermo  
Viale delle Scienze Ed.8,  
90118 Palermo

t +3909123896228

f +39091588853

e [gino.dardanelli@unipa.it](mailto:gino.dardanelli@unipa.it)

**Parole Chiave** > Rilievo integrato, GPS, GNSS, NRTK, Laser Scanner.

**Key Words** > *Rilievo integrato, GPS, GNSS, NRTK, Laser Scanner.*

**Riassunto** > Il lavoro qui presentato consiste in un rilievo integrato (Topografico/GPS statico/NRTK/Laser Scanner) di un piccolo contesto extraurbano siciliano, Borgo Schirò, noto per le vicende storiche che portarono alla sua costruzione a seguito dell'emanazione della legge n.1 del 2 gennaio 1940, per il superamento del latifondo. Data la natura varia degli elementi da rilevare (edifici, arredo urbano, strade) sono state adottate tecniche di acquisizione diversificate per ognuno di essi, le quali, in forma integrata, hanno permesso un utile confronto finale degli elaborati prodotti, offrendo la possibilità di effettuare analisi qualitative altamente accurate su singoli casi strutturali ed elevati gradi di dettaglio nei casi architettonici focalizzati. Le tempistiche notevolmente contenute e l'esiguità del numero degli operatori necessari alle operazioni di acquisizione ed elaborazione dei dati, rendono soddisfacenti gli esiti raggiunti e chiaramente proficua l'integrazione delle metodologie di rilievo adottate.

**Abstract** > The work here shown consists of an integrated survey (Topographic/static GPS/NRTK/Laser Scanning) of a small Sicilian extra-urban context, Borgo Schirò, known for the historical events that led to its construction, following the issuance of the law n. 1 of January 2nd 1940, for the elimination of the latifondium. Given the different nature of the elements to be surveyed (buildings, urban elements, roads) different techniques of metric data acquisition were used for each of them. The integration of all of them, allowed a useful comparison of the final products, offering the possibility of making highly accurate qualitative analysis on the individual structural cases and a high level of detail in the architectural cases focused. The reduced timing and the very small number of operators needed for data acquisition and processing, make the achieved outcomes satisfactory and the integration of survey methods adopted clearly successful.

Articolo ricevuto in redazione nel mese di Aprile 2013 e accettato dopo revisione nel mese di Giugno 2013.

## 1. Introduzione e stato dell'arte

Il rilievo integrato di metodologie diverse, quali ad esempio la topografia classica, il GPS, la fotogrammetria digitale ed il laser scanning terrestre ha come risultato la descrizione completa, dettagliata e ad alta risoluzione di oggetti a diverse scale di rappresentazione e, per questo motivo negli ultimi anni è la strada che più spesso si sceglie nell'effettuare un rilievo. Si riportano di seguito alcuni esempi di applicazioni di rilievo integrato per sottolinearne i molteplici usi e gli enormi vantaggi rispetto al rilievo tradizionale. Chiaramente la trattazione che segue non ha la pretesa di essere esaustiva riguardo tutti i casi presenti in letteratura.

Il primo caso qui riportato è frutto del lavoro di diagnostica e conservazione condotto dall'Università di Bari, nel 2007, sulla pittura del Gesù Crocifisso, che si trova all'interno del Santuario del Cristo la Selva a Matera. Il team di ricercatori ha ritenuto necessario per una completa analisi del degrado della pittura, lo studio del contesto nel quale essa è inserita e dei relativi processi di mutamento nel tempo. Per questo è stato condotto il rilievo, non invasivo, della struttura del santuario e dell'artefatto per studiare come i cambiamenti abbiano influito vicendevolmente sugli elementi del sito oggetto di studio. Le tecnologie utilizzate sono state quelle del rilievo topografico e del laser scanner per l'analisi degli spazi interni ed esterni, per la diagnostica sulla pittura del Gesù Crocifisso, invece, sono state integrati i rilievi fotogrammetrico, termico, laser scanner e fotografico con l'inserimento dei dati relativi all'umidità della stanza, rilevata tramite appositi sensori. Questo studio è finalizzato alla definizione di una metodologia rapida per sostenere ulteriori fasi di campionamento e di analisi, concentrandosi sulle aree in cui una necessità di intervento o di restauro non è stata accertata (Costantino et al., 2007).

Nel 2009 ad Amelia, in provincia di Terni, sono stati integrati i rilievi eseguiti con stazione totale, laser scanner terrestre, fotogrammetria digitale terrestre e GNSS, al fine di eseguire il monitoraggio delle strutture delle mura ciclopiche. L'integrazione di queste diverse tecniche ha prodotto un sistema di monitoraggio completo nel quale si evidenziano tutti i vantaggi dovuti alle singole tecniche di rilievo: la rete GNSS ha permesso di georeferenziare tutti i rilievi locali in un unico datum ed è in grado di rilevare eventuali spostamenti relativi tra le aree in oggetto; le reti 3D rappresentano la tecnica più accurata in grado di rilevare spostamenti di minima entità (1-2 mm); la scansione laser estende il rilievo a tutta la superficie del manufatto, completando la tecnica di cui sopra che viene utilizzata su singole parti; la fotogrammetria digitale viene integrata con il rilievo laser scanner con opportuni software e fornisce un rilievo metrico accurato e una documentazione dello stato di fatto; infine le materializzazioni usate per le reti 3D sono state utilizzate per la rete GNSS e per le scansioni laser. Si è così dimostrato che solo l'utilizzo sinergico delle quattro tecnologie ha prodotto un risultato finale così completo e accurato, risultato dalla somma dei vantaggi di ciascuna di esse (Brigante et al., 2009).

Il lavoro condotto dal Centro di Ricerca DIAPReM c/o il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Ferrara, nel 2009 su Palazzo Litta, situato nel centro storico di Milano, è un esempio di rilievo integrato a servizio della fruizione e valorizzazione di beni culturali. Il palazzo rappresenta un complesso monumentale molto esteso, 1,5 ettari, e per la gestione delle informazioni è stata creata una apposita banca dati che ha permesso la gestione gerarchica degli elementi. Per il rilievo è stato utilizzato laser scanner 3D e componenti topografiche; tutti i dati acquisiti sono stati poi elaborati e modellati per la creazione di un database 3D, implementato in sistema webgis on-line che permette la navigazione e l'interrogazione del modello (Balzani et al., 2009).

Un'altra ricerca che ha dimostrato i vantaggi di un rilievo integrato è quella che ha applicato il brevetto industriale dal titolo "Metodo per individuare almeno un terreno a rischio idrogeomorfologico". Il metodo è stato sperimentato a Nottoria, nel comune di Norcia, per studiare la stabilità di un ammasso roccioso che sovrasta le case del centro storico. L'applicazione è avvenuta effettuando misure laser scanner 3D georeferenziate attraverso GPS topografici e contestualmente sono state individuate coppie stereoscopiche

di immagini aeree del centro storico, restituite attraverso tecniche di fotogrammetria digitale. Infine sono stati confrontati i dataset ottenuti dalle diverse campagne di rilievo così che, tramite l'interpolazione matematica e l'impiego di superfici NURBS (Non Uniform Rational Basis-Splines) è stata ottenuta l'equazione matematica tempo-variante della superficie di scivolamento, che ha permesso di definire un piano operativo di bonifica per la messa in sicurezza della zona interessata (Blois et al., 2009).

A Reggio Calabria, nel 2009, il CNR ha finanziato uno studio di ricerca sul Castello di Gerace, con l'obiettivo finale di tutela e valorizzazione del monumento, date le preoccupanti condizioni strutturali nelle quali oggi si presenta. Il gruppo di ricercatori, dopo aver affrontato l'analisi dei materiali e dei fenomeni di degrado, ha scelto di procedere nel rilievo con l'integrazione delle tecniche di inquadramento con reti topografiche GPS e Laser Scanner. L'acquisizione di ortofoto ha consentito, inoltre, di enfatizzare i molteplici caratteri del sito.

L'elaborazione delle nuvole di punti del Laser Scanner e la loro modellazione ha permesso l'investigazione completa dell'area grazie all'elevata precisione dimensionale ottenuta. L'elaborazione finale dei dati ha permesso di visionare i diversi livelli informativi, in particolare quelli relativi alle evidenze archeologiche, alle anomalie antropiche, ai fronti di frana ed al rischio di stabilità della rocca (Annaloro et al., 2009).

Un altro caso di applicazione di tecniche di rilievo integrato è stato quello condotto nel 2010 per il rilievo di alcuni siti della città di Palmyra (Siria), dalla Missione Archeologica Italo-Siriana PALMAIS. Sono state utilizzate le tecniche del rilievo con stazione totale e fotogrammetria terrestre, che opportunamente processate, con software fotogrammetrici, hanno permesso di elaborare modelli tridimensionali texturizzati e ad alta risoluzione con finalità conoscitive e di catalogazione oltre che per analisi dettagliate (Fabris et al., 2010).

Il team di ricerca dell'Università degli Studi di Firenze, con la collaborazione di esperti del settore, ha condotto un rilievo integrato del borgo di Pianiano, frazione del comune di Cellere nella Tuscia viterbese, per progettare il consolidamento. Il borgo che si trova su una rupe tufacea caratterizzata da cavità e grotte, prodotte dall'attività antropica, presenta scivolamenti e crolli. Il rilievo integrato 3D nasce dall'esigenza di ottenere una base metricamente corretta del perimetro del borgo; a questo scopo sono stati utilizzati sistemi topografici di inquadramento generale, sistemi satellitari per la georeferenziazione del rilievo e sistemi a scansione per il rilievo di dettaglio. Il prodotto finale, il modello tridimensionale, ha permesso l'estrazione di elaborati grafici necessari agli obiettivi prefissati: planimetria del borgo, integrata con le curve di livello della rupe tufacea, 16 sezioni verticali e 12 prospetti per lo studio e analisi delle strutture (Tucci et al., 2010).

## **2. Descrizione del caso studio: il Borgo Schirò (PA)**

L'oggetto della sperimentazione qui presentata è Borgo Schirò, un borgo rurale costruito nel territorio di Monreale, in provincia di Palermo, a seguito dell'emanazione della legge n.1 del 2 gennaio 1940 che, nel tentativo di superare le politiche del latifondo, offriva ai contadini un luogo vicino ai campi di lavoro nel quale vivere.

Premesso che gli autori del presente lavoro non intendono in nessun modo esprimere giudizi o opinioni personali riguardo le politiche attuate durante il fascismo, è opinione condivisa dagli storici che la Sicilia rappresentò una sorta di laboratorio culturale nel quale, alla fine del Ventennio il Governo attuò grandi opere di riforma del territorio, tra cui quelle agrarie ed idrauliche (la più nota è quella dell'Agro Pontino, nel Lazio), costruendo contestualmente case coloniche e borghi rurali che avrebbero fornito servizi indispensabili e una vita più confortevole nei campi, generando di ritorno un ancor più diffuso consenso.

L'idea era quella di "aggredire" il latifondo, cioè quel sistema sviluppato nel Meridione di Italia ed in particolare nelle campagne palermitane, in cui la proprietà era utilizzata per colture tradizionali, senza particolare cura all'innovazione tecnologica o semplicemente impiegata per il pascolo degli armenti. I latifondisti vivevano lontani dalle loro terre, risiedevano nelle città e lasciavano la gestione del latifondo ai

locali gabellieri (Mack Smith, 1966).

Portare all'interno di queste realtà i servizi complementari alle attività agricole, come gli ambulatori medici, il comune, la posta, le caserme dei carabinieri, avrebbe permesso ai contadini di stabilirsi in maniera continuativa all'interno del territorio, senza dovere affrontare lunghi viaggi per tornare nei paesi d'origine alla fine della settimana lavorativa; inoltre in questa maniera sarebbero migliorate le loro condizioni sociali anche perché sarebbe stato assegnato una parte della terra. L'iniziativa fu però subito ostacolata dai proprietari terrieri che, a loro avviso, la vedevano come una proposta addirittura collettivista-socialista. La parziale realizzazione ed attivazione dei servizi promessi, il conseguente abbandono delle strutture appena realizzate, ma soprattutto l'avversione dei contadini all'idea di abbandonare i legami con la famiglia d'origine, segnarono il fallimento del progetto. Tra questi, anche Borgo Schirò venne infatti abbandonato negli anni sessanta e da allora mai più riportato all'attenzione delle amministrazioni (Lorenzoni, 1940).

In Sicilia furono realizzati otto borghi, uno per ogni provincia (ad eccezione di Ragusa in cui era assente il latifondo) e quello di Palermo fu dedicato a Giacomo Schirò, militare arbëreshë ucciso a Piana degli Albanesi il 23 luglio 1920. Tutti i borghi, compresi altri sette sorti in un secondo momento, vennero costruiti nelle vicinanze di strade già esistenti e di sorgive o pozzi da cui estrarre l'acqua. Nel 1940 si contavano già 2507 case coloniche ed i borghi erano composti soltanto dagli edifici preposti all'erogazione dei servizi pubblici ed alla residenza del personale addetto. La progettazione fu affidata ad architetti siciliani con il solo limite di essere rispettosi dell'ambiente e del carattere locale della nuova architettura siciliana, entro i saggi limiti di una libera interpretazione di forme isolate, penetrandone lo spirito e adattandole alle moderne funzioni degli edifici costituenti il Borgo (Lupo, 1987).

I progetti furono esposti nella sede del Teatro Massimo di Palermo durante la Mostra del latifondo il 4 Febbraio 1940. Tutti prevedono la realizzazione con materiali locali: pietre provenienti da cave circostanti, legno per i solai ed i balconi e limitato uso del cemento armato, solo per elementi strutturali. L'idea di sfruttare tutte le risorse del territorio oltre a favorire l'indipendenza economica rispetto alle importazioni straniere, ebbe l'obiettivo di mantenere bassi i costi delle opere. Seguendo le direttive dell'Istituto Vittorio Emanuele III i borghi dal punto di vista morfologico presentavano tutti uno schema di impostazione seriale che vedeva chiaramente distinti il nucleo dei servizi religiosi, culturali e politici da quello dei servizi economici ed industriali. L'elemento centrale era sempre costituito dalla piazza, nei suoi vari adattamenti specifici: cinta completamente da edificato, attraversata da una strada principale, o aperta su di un lato, nei luoghi in cui il clima fosse più mite (Gadda, 1941).

Il Borgo Schirò, progettato dall'Architetto Manetti Cusa realizzato dall'Ente di Colonizzazione del Latifondo Siciliano, insiste su una spianata artificiale ricavata sulla sommità di Cozzo Monnello; esso è costituito da sei corpi di fabbrica che comprendono: la chiesa con canonica, la delegazione municipale, la scuola elementare, l'ambulatorio medico, l'ufficio postale con caserma, la trattoria con rivendita e le botteghe degli artigiani con le relative abitazioni. I sei edifici si trovano raccolti attorno alla piazza principale, nella quale vi si trova anche una fontana, mentre nel territorio limitrofo vi si trovavano un trentina di abitazioni per i contadini (Figg. 1-2).

La piazza è attraversata dalla strada provinciale n. 99 che collega Camporeale con Corleone e San Cipirrello (Epifanio, 1940).

Il Borgo visse il periodo di suo massimo splendore tra gli anni quaranta e cinquanta contando una popolazione attiva di circa cento abitanti. La storia del suo declino comincia agli inizi degli anni sessanta con il generale processo di inurbamento che colpì l'intero paese ma è con il terremoto del Belice nel 1968 che il piccolo aggregato rurale perde gran parte dei suoi abitanti a causa dei gravi danni procurati alle abitazioni, al municipio ed alla scuola. Successivamente, continui furti ed atti vandalici susseguirsi negli anni segnarono l'abbandono definitivo del borgo ed il suo rapido declino, di pari passo rispetto al fallimento delle politiche ideate durante il fascismo.

Attualmente lo stato di conservazione nel quale versa il borgo è precario a causa di una pluralità di fattori antropici e naturali che ne hanno condizionato l'abbandono ed il progressivo decadimento. La qualità storico-artistica dell'edificato nonché l'eccezionale bellezza del contesto naturale nel quale esso è inserito, rendono ancora oggi evidente la necessità di un progetto di recupero e fruizione volto alla rivalutazione dell'area e del suo potenziale di attrattiva. È proprio in quest'ottica quindi che va inquadrato il rilievo qui presentato, configurandosi come lavoro propedeutico ad ogni eventuale progetto futuro.

Figura 1 - Borgo Schirò ritratto in una foto d'epoca subito dopo la costruzione.

Figura 2 - Ripresa aerea del Borgo inserito nel suo contesto.



### 3. La sperimentazione: progettazione ed acquisizione dei dati

#### 3.1 Il rilievo integrato

Nel caso di Borgo Schirò i rilievi effettuati hanno seguito la seguente successione: architettonico con stazione totale, GPS statico, GNSS cinematico in NRTK ed infine laser scanner. Si riportano nei successivi paragrafi le operazioni condotte.

#### 3.2 Il rilievo architettonico attraverso stazione totale

La prima operazione di misura indiretta effettuata è stata quella del rilievo topografico al fine di costruire una prima base di appoggio per la creazione di elaborati grafici di rappresentazione degli edifici o porzioni di essi (Birardi, 1992). Preliminarmente, sulla base di foto satellitari, cartografie esistenti e storiche è stata progettata un'ipotesi di rete topografica mediante l'indicazione su tali supporti dei possibili vertici, e successivamente un sopralluogo nel borgo è servito a verificare la validità dello schema mediante l'accertamento dell'intervisibilità tra i punti di stazione materializzati in base all'accessibilità. Una documentazione fotografica ha seguito l'intera operazione di materializzazione dei punti per garantire un futuro ritrovamento, identificazione e riconoscimento degli stessi (Fig. 3). Sulle stesse foto infatti sono stati annotati direttamente sul campo in tempo reale i nomi propri di ciascun punto in modo tale da rendere più semplice ed agevole la loro connessione, una volta importati in un qualsiasi software di disegno vettoriale CAD. Le misure della poligonale di inquadramento sono state eseguite posizionando i prismi rifrangenti sui vertici da collimare e lavorando su un sistema di riferimento fittizio locale. Per individuare eventuali errori grossolani sono state eseguite durante le misure opportune verifiche di congruenza. Una volta misurati angoli e distanze mediante la stazione totale i dati grezzi sono stati importati all'interno del software Meridiana della Geotop per la restituzione delle coordinate cartesiane nel sistema di riferimento locale. Quest'ultimo, sul campo, era infatti stato impostato sullo strumento all'inizio del rilievo, considerando come origine il vertice V8, al centro della piazza (Fig. 7). Il rilievo è stato effettuato secondo le consuete operazioni di prima battuta dei vertici visibili e successivo rilievo di dettaglio dei particolari (spigoli dei fabbricati, cornicioni, finestre, porticati.) mediante il *metodo dell'irraggiamento*, come è noto in letteratura. Sono stati battuti un totale di 514 punti di dettaglio mediante l'uso di una stazione motorizzata Topcon GPT-9001°, un prisma riflettente, due treppiedi ed un bipiede.



Figura 3 - Foto sovrapposte con i punti rilevati in campagna dal vertice V5

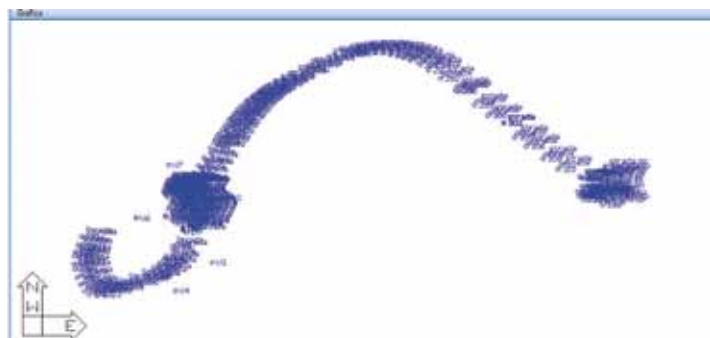
### 3.3 Il rilievo cinematico in NRTK

Per il rilievo delle strade di accesso ed interne, della piazza centrale e degli elementi di corredo quali le fontane, è stato condotto un rilievo cinematico mediante NRTK. Come vertici di controllo sono stati utilizzati i 9 vertici della poligonale di inquadramento materializzati per il rilievo topografico per consentire la successiva sovrapposizione dei dati e rendere noti i vertici rispetto al medesimo sistema di riferimento (Fig. 8). La rete di stazioni permanenti del DICAM (Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale dei Materiali) dell'Università di Palermo ha rappresentato un supporto geodetico di riferimento per garantire l'affidabilità dell'intero rilievo (Dardanelli et al., 2009). Ciò è stato possibile tramite il noto protocollo Ntrip, sfruttando la connessione dati a pacchetto tramite una SIM con operatore telefonico TIM.

Anche per i punti rilevati mediante NRTK sono stati dapprima rilevati i nove vertici della poligonale assunti come punti di controllo e successivamente si è proceduto al rilievo dei punti di dettaglio. Per l'elaborazione dei dati è stato anche qui adoperato il software Meridiana (Fig. 4), che permette di trattare congiuntamente dati GPS, da stazione totale o anche da livello digitale. Il rilievo ha consentito di conoscere le coordinate di più di 300 punti opportunamente posizionati lungo le strade interne e di accesso al borgo attraverso l'utilizzo di un ricevitore con controller TOPCON GRS-1, un'antenna esterna TOPCON PG-A1, un'asta geodetica in carbonio TOPCON e un bipiede. Mediante l'utilizzo del bipiede sono stati possibili tempi di acquisizione di 30 secondi nei casi del rilievo dei punti di controllo, mentre per i punti di dettaglio si sono acquisiti con rate di 1 secondo, adoperando semplicemente una palina posizionata verticalmente centrando la livella sferica di cui è dotata. Ovviamente per descrivere traiettorie approssimativamente rettilinee è stato effettuato un rilievo sensibilmente meno fitto di quello occorso per la descrizione delle traiettorie curvilinee. La presenza di alberi e la vicinanza di alcuni edifici agli oggetti da rilevare, causando una notevole riduzione della copertura satellitare, ha costituito talvolta un consistente ostacolo alla ottimale acquisizione del dato.

Il fissaggio dell'ambiguità di fase è stato comunque costantemente verificato tramite un messaggio sul controller che informava se il punti fossero "fixed" (qualora tra ricevitore e satelliti fosse stata fissata l'ambiguità di fase attraverso la soluzione di un algoritmo) o "float" (in caso contrario).

Figura 4 - Vista completa dei punti rilevati.



### 3.4 Il rilievo GPS statico

La modalità statica GPS di certo è quella che permette, tra quelle fin ora elencate, maggiori livelli di precisione e dettaglio (Cina, 2000). Essa infatti è stata utilizzata proprio per integrare i tre rilievi condotti ed ottenere le coordinate per l'inquadramento dell'intero lavoro nel sistema di riferimento della Carta Tecnica Regionale, che è quello nazionale Gauss Boaga.

Sono stati adoperati per l'acquisizione dei dati strumenti Topcon abilitati alla ricezione delle costellazioni GPS e GLONASS, una basetta, un treppiedi ed un bipede.

I punti rilevati coincidono con i punti di controllo già rilevati in modalità cinematica NRTK, ottenuti dalla rete di stazioni permanenti dell'U-NIPA (Fig. 9), con una lunghezza delle basi mediamente pari a circa 40 km (Fig. 5).

Sono state effettuate tre sessioni di misura di 1 h ciascuna, con intervalli di campionamento di 15 secondi, per disporre di un consistente numero di osservazioni ed accrescere il livello di accuratezza del dato finale (Fig. 6).

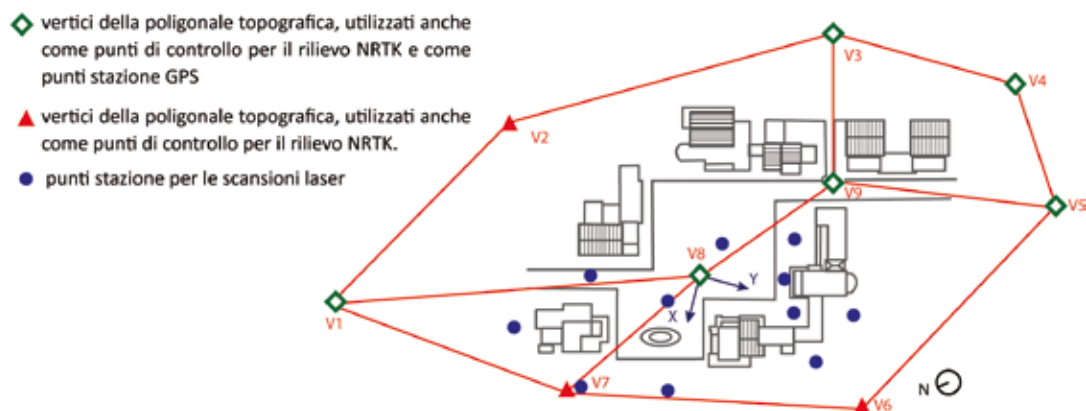
L'utilizzo contemporaneo di due ricevitori ha consentito la misurazione di ventiquattro basi ed un conseguente alto livello di precisione nella compensazione.





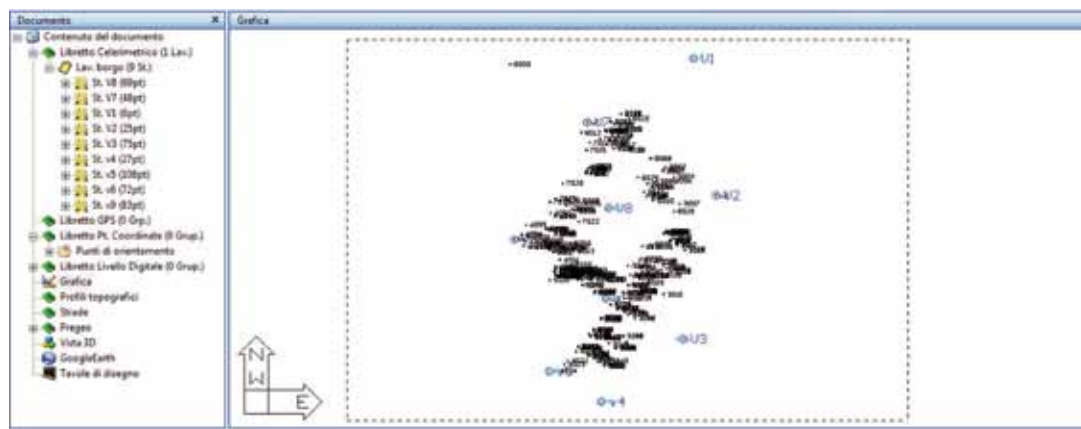
Le scansioni sono state interamente effettuate per mezzo di un laser scanner a differenza di fase e geometria di acquisizione di tipo sferico FARO FOCUS 3D della CAM2 (con precisione di 2mm) e gestite tramite il software SCENE della stessa casa. Pur avendo portate limitate rispetto ad uno scanner a tempo di volo, considerando il campo di azione in esame, il FARO FOCUS 3D è risultato assolutamente adeguato. Data la notevole velocità di acquisizione consentita dallo strumento è stato possibile infatti effettuare tutte le scansioni necessarie nell'arco di alcune ore. In poche ore di lavoro sono state effettuate tre scansioni del porticato sulla piazza, dall'esterno e dall'interno (per consentire un'accurata modellazione tridimensionale), due scansioni della facciata della chiesa, una scansione a 360° al centro della piazza (per permettere una sovrapposizione generale delle scansioni), due scansioni della fontana (suoi due lati opposti) ed infine un'ultima scansione per ognuno dei lati dell'edificio scolastico.

Figura 7 - Planimetria con vertici della poligonale topografica, ubicazione dei punti di controllo NRTK, ubicazione dei vertici GPS, schema di massima delle scansioni laser.



#### 4. Elaborazioni ed analisi dei risultati

La prima operazione di elaborazione dei dati rilevati è stata quella in post-processamento di sei dei nove vertici della poligonale (V1, V3, V4, V5, V8 e V9) acquisiti mediante il rilievo GPS relativo in modalità statica. Successivamente si è proceduto con la sovrapposizione del rilievo architettonico, effettuato con la stazione totale (Fig. 8), e del rilievo cinematico in NRTK. Il rilievo GPS ha permesso, nell'ambito dell'integrazione dei tre rilievi, di ottenere le coordinate con le quali è stato possibile inquadrare l'intero lavoro in un unico sistema di riferimento. Infine sono state unite le scansioni in un'unica nuvola di punti dalla quale è stato possibile estrarre delle sezioni piane di alcuni fabbricati.



#### 4.1 Elaborazione dei dati GPS in modalità statica

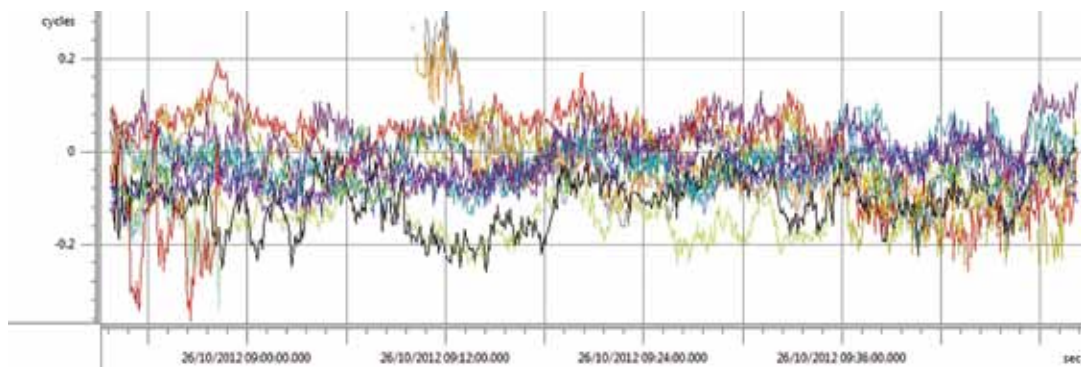
Il prodotto finale dell'elaborazione dei dati GPS in modalità statica è stata la stima delle 3 componenti delle basi fra punti indietro (punti a coordinate note, nello specifico le stazioni permanenti di Palermo, Alcamo, Partinico e Prizzi) e punto in avanti e la relativa matrice di covarianza. L'elaborazione dei risultati ha fornito per ogni vettore processato la percentuale di ambiguità risolte (fixed) e irrisolte (float) e tutti i salti di ciclo (cycle-slip); il software utilizzato per l'elaborazione dati risolve il sistema di fase in più epoche, fornendo la stima float per il vettore delle ambiguità iniziali e relativa matrice di covarianza la quale accuratezza dipende da diversi fattori, quali durata della misura, numero di satelliti, lunghezza della base e qualità dei dati.

Per risolvere le ambiguità riscontrate si è agito sugli algoritmi implementati nel software per la misurazione di fasi, sull'angolo di cut-off, ed eliminando dal calcolo i satelliti di cui non si disponesse di sufficienti epoche di misura.

Si tratta, quindi, di eliminare termini incogniti o termini mal modellizzabili che generano errori nella scrittura delle equazioni di osservazione. Per ottenere quanto sopra detto si è operato, come è noto in letteratura, mediante combinazione di osservazioni dallo stesso ricevitore allo stesso satellite, sulle osservabili di fase  $P(t)$  (portanti L1 e L2) e su quelle di pseudorange  $P(t)$  (codici C/A e P(Y)). Nella figura 9 sono riportati i valori dei residui ottenuti.

A questo punto, utilizzando il metodo dei minimi quadrati, si è effettuata la compensazione della rete, ottenendo così le coordinate dei rimanenti punti della rete, le precisioni delle stime e le regioni di confidenza, ottenendo così le coordinate dei vertici della poligonale nel sistema di riferimento globale, convertite poi nei sistemi di riferimento ROMA40 e WGS84.

Figura 8 - Vista complessiva dei punti rilevati durante la sessione di rilievo topografico con stazione totale.



#### 4.2 Elaborazione dei dati della poligonale topografica e del rilievo NRTK

Il secondo passo è stato quello del calcolo celerimetrico dei dati del rilievo topografico e la relativa compensazione rigorosa sia per la planimetria che per l'altimetria. Procedendo nell'elaborazione dopo aver ottenuto le coordinate locali, sono state inserite le coordinate note dei vertici, ottenute dal rilievo GPS.

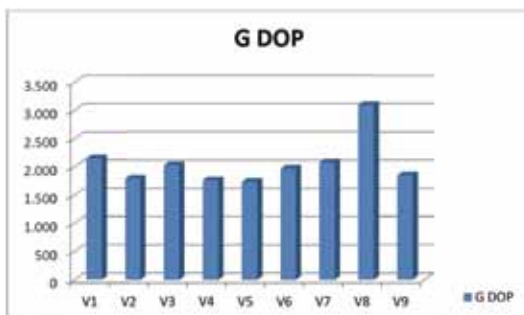
Anche nel caso del processamento dei dati relativi al rilievo NRTK sono state inserite le coordinate note di cui sopra. Terminata questa operazione ed estrapolate tutte le coordinate dei punti sono stati elaborati dei grafici relativi alla precisione del rilievo e alla bontà dell'acquisizione dei dati, riferiti ai parametri di PDOP e GDOP che sono risultati accettabili. (Fig 10-11)

Lo scarto quadratico medio, risultato dalla compensazione della rete ai minimi vincoli, è stato mantenuto all'interno della tolleranza. (Fig. 12) Al termine del processamento sono state poi sovrapposte le sessioni di rilievo GPS e topografico, per effettuare un confronto con la Carta Tecnica Regionale (Fig. 13).

Figura 9 - Esempio di grafico dei residui (V1). L'analisi di tutti i grafici ha evidenziato come gli errori differenziali fossero pressoché omogenei.

Figura 10 - Istogramma dei valori del GDOP dei punti di controllo.

Figura 11 - Istogramma dei valori del PDOP dei punti di controllo.



**SUBNET "4 punti" POINTS: ADJUSTED COORDINATES in WGS84 (BLH)**

Figura 12 - Coordinate GPS dei vertici, relativi scarti quadratici medi e indice di correlazione

Point			Coordinates			Sigmas (mm)			Corr.(%)		
#	Name	Comment	Latitude	Longitude	height (m)	s(N)	s(E)	s(U)	N.E	N.U	E.U
1	ALCA		37° 58' 24.64002" N	12° 57' 20.77357" E	354,1540	0,0	0,0	0,0	0	0	0
2	PALE		38° 06' 19.95230" N	13° 20' 54.43838" E	113,5620	0,0	0,0	0,0	0	0	0
3	PART		38° 02' 25.50283" N	13° 06' 35.30615" E	247,5050	0,0	0,0	0,0	0	0	0
4	PRIZ		37° 43' 08.32305" N	13° 26' 12.81620" E	961,8960	0,0	0,0	0,0	0	0	0
5	V09		37° 52' 32.49022" N	13° 13' 43.26410" E	412,9428	20,8	19,7	79,3	-29	-14	15
6	V03		37° 52' 31.74459" N	13° 13' 45.14736" E	407,7541	36,4	28,9	82,7	19	-14	3
7	V04		37° 52' 30.52342" N	13° 13' 43.21136" E	405,9403	24,5	28,2	74,8	7	-13	7
8	V05		37° 52' 31.08227" N	13° 13' 41.94183" E	411,8923	25,2	24,5	70,0	2	-26	20
9	V08		37° 52' 34.21892" N	13° 13' 43.28335" E	412,7265	31,1	21,1	71,5	12	-13	10
10	V001		37° 52' 37.09294" N	13° 13' 45.27040" E	408,7025	22,6	19,9	75,7	1	-1	18



Figura 13 - Sovrapposizione dei punti elaborati sulla CTR 1:10000.

#### 4.3 Elaborazione dei dati del rilievo mediante laser scanner

Le scansioni, elaborate tramite il software proprietario FARO SCENE, della CAM2, sono state primariamente allineate in un'unica nuvola ed opportunamente filtrate (fig. 14-16). Successivamente è stato esportato un file ASCII (.xyz) con il quale è stato possibile procedere alla modellazione tridimensionale tramite terzi software.

Tutte le scansioni effettuate sono state unite manualmente utilizzando i punti in comune tra le scansioni successive. Sono state rilevate almeno quattro corrispondenze per ogni punto per aumentare il controllo sugli errori rimanere al disotto del centimetro di scarto per ogni punto individuato. Lo scarto finale è risultato in media di 2 mm, con una deviazione di 2,9 mm, ed è stato ritenuto accettabile ai fini del rilievo architettonico.

Dalla nuvola di punti ottenuta, una volta eliminate le parti occultate dalla fitta vegetazione, sono state estrapolate delle sezioni piane del portico e della fontana, viste realistiche e fotopiani che hanno permesso di osservare i dissesti strutturali (Fig.15). Per generare questi elaborati sono state utilizzate le applicazioni Pointools della Bentley, su Rhinoceros, e Pointcab. Infine è stato generato anche un modello di superficie mediante Rhinoceros, il quale attraverso il plug-in "mesh from point" e "Mesh repair" è in grado di generare mesh direttamente dai punti della nuvola in modo automatico, chiudere eventuali vuoti rilevati e permettere possibili modifiche manuali sul risultato generato. Infine, attraverso l'applicazione Flamingo sono stati ottenuti i render finali, texturizzati e contestualizzati (figg 17-18).

Figura 14 - vista complessiva delle scansioni, i diversi colori.

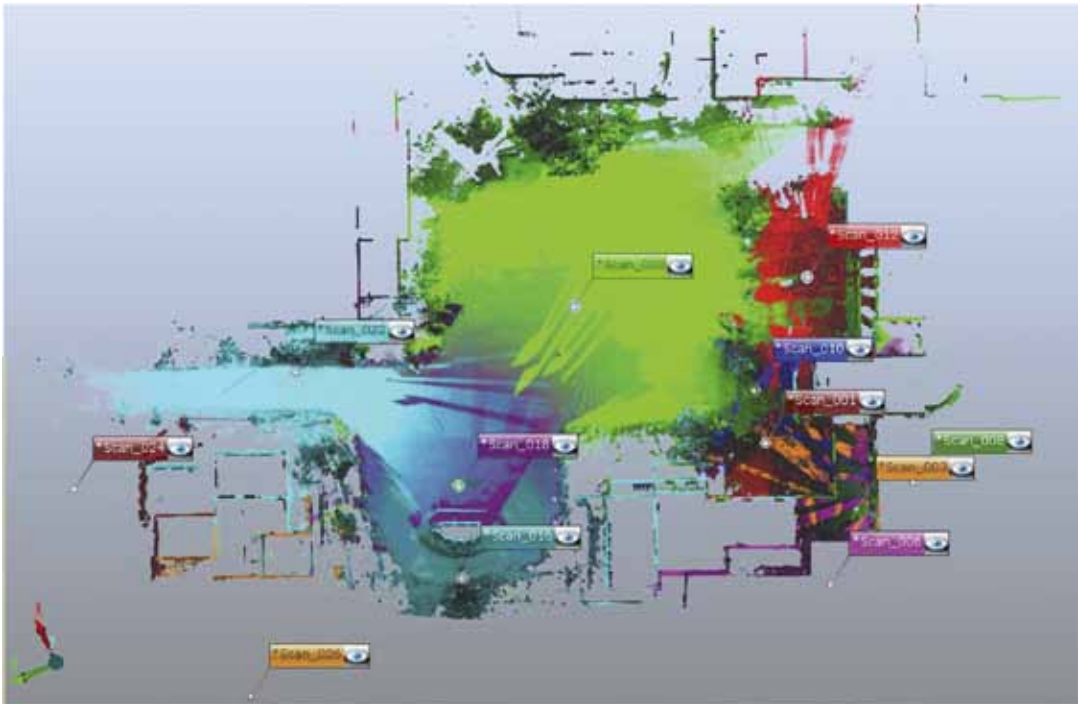




Figura 15 – Chiesa, prospetto frontale indicano l'appartenenza dei punti ad una determinata scansione.

Figura 16 - La nuvola complessiva in vista nitida.

## Conclusioni

L'integrazione di più metodologie di rilievo ha generato interessanti risultati dal punto di vista della verifica delle coordinate e della polivalenza e fruibilità diversificata degli elaborati producibili. Il caso di Borgo Schirò nello specifico ha permesso di produrre, con brevissimi tempi di acquisizione ed accettabili tempi di elaborazione, elaborati grafici di altissima precisione sulla scala architettonica (nel caso della fontana e del portico) e di buona accuratezza sulla scala urbana/territoriale (nel caso della strada di accesso e della piazza centrale).

Il rilievo infatti, impostato su scansioni con passo da 2mm, mantenendo un tempo medio di 90 minuti a scansione, ha consentito in circa mezza giornata di realizzare 24 scansioni totali e 12 di dettaglio, per un ammontare di 492 milioni di punti acquisiti, che hanno permesso di generare elaborati dettagliati in scala 1:50 e 1:20.

Per quanto riguarda il rilievo NRTK i risultati forniti sono rientrati appieno nelle tolleranze proprie del metodo, infatti considerati valori limite 10 cm in planimetria e 15 in altimetria rispettivamente, sono state riscontrate differenze dell'ordine di 2-3 cm in planimetria e 3-5 in altimetria.

Inoltre il numero di operatori coinvolti è stato molto contenuto durante tutte le fasi e ciò ha contribuito notevolmente a rendere sostenibili gli oneri connessi all'intera operazione di rilievo. Tutto il materiale prodotto come esito di questo lavoro rappresenta un ottimo supporto a futuri auspicabili progetti di restauro, manutenzione, riqualificazione e valorizzazione dell'intero contesto urbano e delle sue singole entità architettoniche costituenti. Inoltre gli stessi dati potrebbero anche essere utilizzati per un eventuale aggiornamento cartografico della zona sottoposta al rilievo integrato.

## Ringraziamenti

È assolutamente doveroso ringraziare gli ingegneri G. Barbaccia e A. Scaffiddi per aver collaborato in prima persona all'acquisizione e all'elaborazione dei dati relativi ai rilievi qui esposti come lavoro di tesi di laurea in Ingegneria Civile presso l'Università degli Studi di Palermo, oltre agli archh. V. Garofalo e M. Carella, correlatori di questi lavori.

## Bibliografia

- BARBACCIA G. 2012. Rilievi integrato di Borgo Schirò. Tesi di laurea in Ingegneria Civile, presso l'Università degli Studi di Palermo, Palermo 2012.
- SCAFFIDI A. 2012. Analisi storica e rilievo laser scanner di Borgo Schirò. Tesi di laurea in Ingegneria Civile, presso l'Università degli Studi di Palermo, Palermo 2012.
- DARDANELLI G., FRANCO, V., CHIAPPONE A. 2010. Analisi dei rilievi NRTK condotti con differenti reti di stazioni permanenti in Sicilia. In: Atti della 14<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA, 9-12 novembre 2010, Brescia.
- FABRIS M., ACHILLI V., BONARDI, I., BRAGAGNOLO D., FAVARETTO S., FRASSINE M., GRASSI M.T., MENIN A., TARGA G 2010. Metodologie integrate per la georeferenziazione e rilievi 3D terrestri nella antica città di Palmyra (Siria). In: Atti della 14<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA, 9-12 novembre 2010, Brescia.



- SAMPIETRO D., ALMUDENA G.P. 2010. Reti 3D miste GPS/TOTAL STATION e deviazione della verticale. In: Atti della 14a Conferenza Nazionale ASITA, 9-12 novembre 2010, Brescia.
- GUIDI G., RUSSO M., BERALDIN J.A. 2010 Acquisizione 3D e modellazione poligonale. The McGraw-Hill Companies srl.
- TUCCI G., NOBILE A., RIDOLFI G., PAPACCHINI L. 2009. La rupe tufacea di Pianiano (VT): dal rilievo integrato al progetto di consolidamento dei centri abitati instabili. In: Atti della 14<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA, 9-12 novembre 2010, Brescia.
- ANNALORO S., SAPIO G., SARACENO D., 2009. Il castello di Gerace. Rilievo integrato per la documentazione e l'analisi dei beni culturali. Atti della 13a Conferenza Nazionale ASITA, 1 - 4 dicembre 2009, Bari.
- BALZANI M., GALVANI G., TONNELLI G. 2009. Palazzo Arese-Litta a Milano: metodologia di rilievo integrato per la creazione di una banca dati tridimensionale, la restituzione e la gestione diretta tramite web. Atti della 13a Conferenza Nazionale ASITA, 1 - 4 dicembre 2009, Bari.
- BLOIS L., BLOIS C., CAPONI M. 2009. Aspetti metodologici di analisi multitemporale integrata con GPS e Stazione Totale robotizzata e modelli previsionali per la valutazione di movimenti franosi in località San Giuliano e Colletorto. Atti della 13a Conferenza Nazionale ASITA, 1 - 4 dicembre 2009, Bari.
- BRIGANTE R., DOMINICI D., FASTELLINI G., RADICIONI F., STOPPINI A. 2009. Tecniche geomatiche integrate per il monitoraggio delle mura ciclopiche di amelia. In: Atti della 13<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA, 1 - 4 dicembre 2009, Bari.
- DARDANELLI G., FRANCO V. 2009. Determinazione della precisione e della ripetibilità in rilievi NRTK. Atti della 13a Conferenza Nazionale ASITA, 1 - 4 dicembre 2009, Bari.
- DARDANELLI G., FRANCO V., LO BRUTTO M., 2008. La rete GNSS per il posizionamento in tempo reale dell'Università di Palermo: progetto, realizzazione e primi risultati. In: Bollettino SIFET (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia) n. 3-2008, pp. 107-124.
- COSTANTINO D., ANGELINI M. G., CAPRINO G. 2007. Rapid approach of integrated survey for the conservative analysis of pictures. In XXI International CIPA Symposium, 01-06 October, Athens, Greece.
- GUSELLA L., GUALANDI L., BELÒ M. 2007. Le infrastrutture di rete NRTK per il integrato stazione totale-GPS. Atti della 11a Conferenza Nazionale ASITA, 6-9 novembre 2007, Torino.
- BEZOARI G., MONTI C., Selvini A 2002. Topografia Generale, Utet Torino
- CINA A. 2000. GPS – Principi, modalità e tecniche di posizionamento, ed. CELID Torino
- GALETTO R., SPALLA A. 1998 Lezioni di topografia. CUSL, Pavia
- TESTA M. 1995. Topografia in cantiere, DEI
- BIRARDI G. 1982. Corso di Topografia vol. 1-2 Pitagora Editrice, Bologna
- LUPO S. 1987. L'utopia totalitaria del fascismo, in Storia d'Italia. Le regioni dall'Unità a oggi. La Sicilia.
- MACK SMITH D. 1966. Il latifondo nella storia siciliana moderna, in NUOVI QUADERNI DELMERIDIONE, a. IV, n. 15.
- LORENZONI G. 1940. Trasformazione e colonizzazione del latifondo siciliano, Firenze
- GADDA C.E. 1941. La colonizzazione del latifondo siciliano, in T.C.I. «Le vie d'Italia» n. 3
- Ente di Colonizzazione del Latifondo Siciliano 1941–1942. Lunario del contadino siciliano.
- EPIFANIO L. 1942. La nuova architettura rurale in Sicilia, in Ministero Dell'agricoltura e Delle Foreste. Ente Di Colonizzazione Del Latifondo Siciliano, Il latifondo siciliano, Palermo.