

## **UN'APPLICAZIONE DELLA PROCEDURA DI IMPLEMENTAZIONE DI UN INSIEME RIDONDANTE DI SISTEMI RISOLUTIVI: L'ALLINEAMENTO DELLE SCANSIONI LASER DEL PORTALE LATERALE DEL DUOMO DI MESSINA**

Alessandra AMATO, Massimo CHILLEMI, Luigi GIACOBBE<sup>1</sup>

DISIA Facoltà di Ingegneria Università di Messina, 0903977208,  
amatoa@unime.it, massimochillemi@ingegneria.unime.it, luigigiacobbe@libero.it

### **RIASSUNTO**

In una precedente pubblicazione, presentata all'11<sup>a</sup> Conferenza ASITA, gli Autori hanno proposto una procedura di allineamento delle nuvole di punti acquisite mediante tecniche laser scanning.

Il metodo proposto consente di ottimizzare i parametri di trasformazione necessari per eseguire l'allineamento delle scansioni laser attraverso fasi operative, che richiedono particolare cura durante la progettazione e l'esecuzione del rilievo, ma estremamente semplici in fase di restituzione.

Nel presente articolo si intendono presentare i risultati dell'applicazione di tale metodo, definito "implementazione di un insieme ridondante di sistemi risolutivi", alla registrazione delle scansioni del portale laterale del Duomo di Messina.

Le due scansioni del portale laterale e delle finestre in stile gotico-catalano sono state eseguite con il laser scanner LS 880 della FARO CAM2 in dotazione al CN.R. – Istituto di Tecniche Spettroscopiche di Messina.

Per il rilievo topografico dei target è stata invece utilizzata la stazione totale TOPCON GS330 del Dipartimento di Scienze per l'Ingegneria e per l'Architettura di Messina.

Applicati sul prospetto dodici segnali, di cui sei utilizzati per l'allineamento delle due scansioni, quattro in funzione di punti di controllo e due per l'orientamento della prima scansione, si è potuto osservare come i risultati dell'elaborazione sono in linea con le aspettative, dal momento che si riesce a contenere i residui sulle coordinate dei vertici di controllo in un ambito di valori significativamente più bassi della tolleranza assegnata.

### **ABSTRACT**

In a previous publication, submitted at the 11<sup>th</sup> ASITA Conference, the Authors have proposed a procedure of alignment of the clouds of points acquired by laser scanning techniques. The proposed method allows to optimize the parameters of the transformation necessary to optimize to perform the alignment of the laser scanings through operational phases, that ask for particular care during the planning and the execution of the survey but extremely simple in phase of restitution.

In this article the Authors produce the results of the application of such method, defined "implementation of a redundant full set of resolute systems", to the recording of the scanings of the side portal of the Cathedral in Messina.

The two scanings of the side portal and of the windows in Gothic-Catalan have been executed with the laser scanner LS 880 of the FARO CAM2 in endowment to CN.R. - Spectroscopic Techniques Institute in Messina.

The topographical survey of the targets has been used the total station TOPCON GS 330 in endowment to Department for the Engineering and for the Architecture in Messina.

Twelve signals, of which six used for the alignment of two scanings, four in function of control points and two for the orientation of the first scanning, were applied on the front of building; the results of the elaboration are in line with the expectations, since one is able significantly to contain the residuals on the coordinates of the control tops in a context of values lower than the assigned tolerance.

---

<sup>1</sup> Il contributo degli Autori alla stesura del presente articolo è da intendersi paritetico.

## 1. Introduzione

Il corretto utilizzo della metodologia laser scanning 3D non può prescindere da un consapevole progetto del modello finale già in una fase precedente al rilievo, quando è necessario predisporre le opportune condizioni operative per garantire il conseguimento del risultato atteso anche in termini di precisione.

La possibilità offerta dal laser scanner di posizionare un punto nello spazio con una precisione decisamente elevata può essere depauperata da una procedura di rilievo e restituzione non adeguata. In particolare, il problema si pone quando la forma, l'estensione e/o le condizioni di accessibilità visiva dell'oggetto da rilevare non ne consentono l'acquisizione con una sola scansione ed occorre quindi operare con più stazioni di presa, ognuna delle quali è riferita ad un particolare sistema di riferimento locale arbitrariamente orientato.

Di conseguenza, i modelli risultanti dalle singole scansioni sono fra loro indipendenti e privi di una relazione geometrica nota.

In fase di restituzione sarà quindi indispensabile ricostruire il legame geometrico tra i modelli parziali rilevati, che dovranno essere georeferenziati rispetto ad un unico sistema di riferimento predefinito, introducendo inevitabilmente, per effetto dell'incertezza di posizionamento dei punti, ulteriori approssimazioni.

Tale operazione, com'è noto, viene definita allineamento o registrazione delle scansioni.

Nonostante la numerosità dei punti omologhi (target) tra due scansioni eserciti una notevole importanza ai fini del calcolo dei parametri di rototraslazione, spesso può non risultare sufficiente a garantire il risultato atteso dal rilievo in termini di precisione del modello finale.

La procedura proposta dagli Autori in una precedente pubblicazione, presentata in sessione poster all'11<sup>a</sup> Conferenza ASITA, evidenzia la possibilità di attivare una serie di controlli convergendo in definitiva verso il calcolo dei valori più probabili dei parametri di trasformazione mediante un criterio di stima ai minimi quadrati. In sintesi, il metodo prevede la scelta di un numero di target sufficiente a generare un elevato numero di sistemi risolutivi e testa i risultati ottenuti per le varie terne di parametri di trasformazione calcolati su un gruppo di vertici controllo, di cui si conoscono a priori le coordinate nel sistema di riferimento finale.

Individuate, attraverso questa procedura, le combinazioni di target più attendibili, le corrispondenti terne di parametri sono trattate statisticamente al fine di determinare i valori più probabili.

## 2. Il portale laterale del Duomo di Messina: rilievo ed allineamento delle scansioni

La procedura proposta nella precedente pubblicazione, è stata testata attraverso una prova di calibrazione utilizzando i dati acquisiti con due scansioni del prospetto Sud-Est del Duomo di Messina.

Le due scansioni del portale laterale del Duomo di Messina (fig. 1) e delle finestre in stile gotico-catalano (fig. 2) sono state eseguite con il laser scanner LS 880 della FARO CAM2 in dotazione al CN.R. – Istituto di Tecniche Spettroscopiche di Messina.



Figura 1-Portale laterale del Duomo di Messina



Figura 2 - finestre in stile gotico-catalano (prospetto Sud-Est)

Per il rilievo topografico dei target è stata invece utilizzata la stazione totale TOPCON GS330 del Dipartimento di Scienze per l'Ingegneria e per l'Architettura di Messina. Sul prospetto sono stati applicati dodici segnali (fig. 3), di cui sei utilizzati per l'allineamento delle due scansioni (target 2-7), quattro in funzione di punti di controllo (target 9-12) e due per l'orientamento della prima scansione (target 1 e 8).

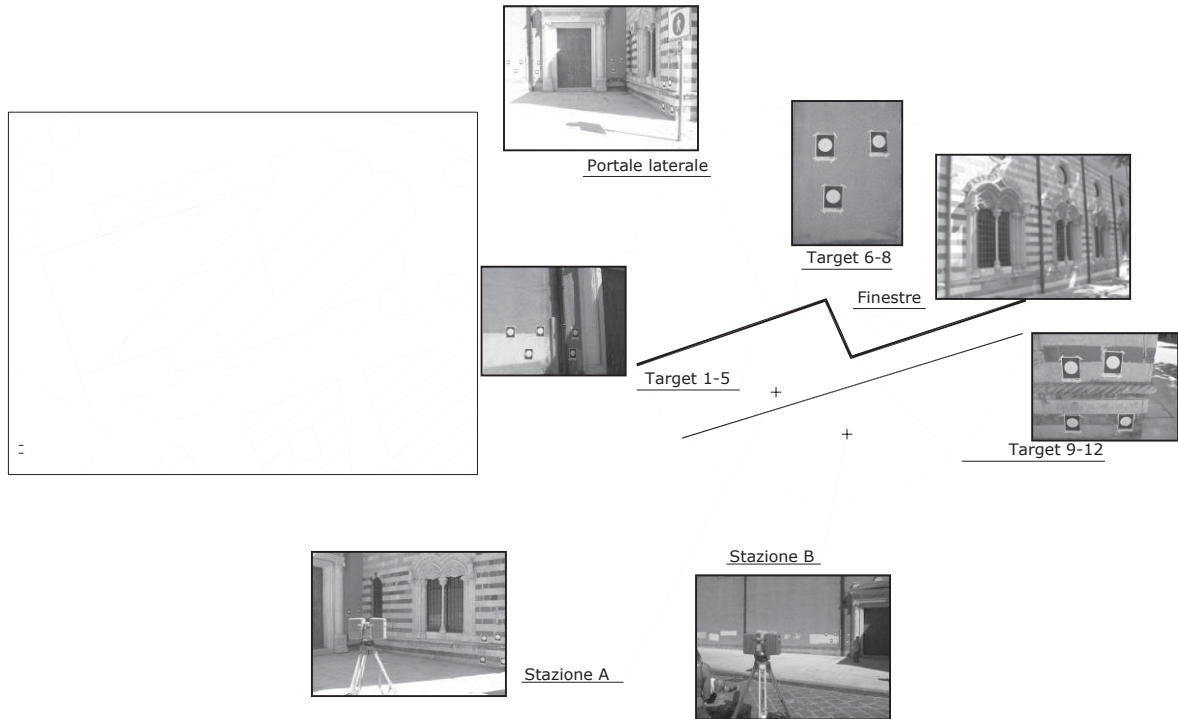


Figura 3- Schema planimetrico del rilievo

Le coordinate dei 12 target sono state acquisite attraverso le due scansioni laser (fig. 4-5), facendo stazione in due punti, A e B.



Figura 4 - nuvola di punti acquisita con la scansione A



Figura 5 - nuvola di punti acquisita con la scansione B

Il posizionamento topografico dei target è stato effettuato facendo stazione nel punto A e ripetendo le misure per quattro volte. Utilizzando due vertici come punti doppi tra il posizionamento topografico e la scansione A, è stata eseguita, ricorrendo all'Analisi Procustiana, la rototraslazione del sistema di riferimento corrispondente a quest'ultima. Una volta ottenuti i parametri di trasformazione, che si riportano di seguito (fig. 6),

$a_x=$	<b>2,47595</b>	<b>m</b>
$a_y=$	<b>-0,28316</b>	<b>m</b>
$\theta=$	<b>-1,01491</b>	<b>rad</b>

Figura 6 – Parametri per l'allineamento tra il posizionamento topografico e la scansione A

è stata effettuata la rototraslazione dei vertici 2, 3, 4, 5, 6 e 7, i cui risultati riferiti alla scansione effettuata nel punto A, si riportano nella seguente tabella (fig. 7):

Target	Coordinate originali		Coordinate trasformate	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
<b>2</b>	6,25934	-2,08365	7,54889	3,93421
<b>3</b>	6,13067	-2,37257	7,72641	3,67245
<b>4</b>	5,77717	-3,21487	8,25535	2,92770
<b>5</b>	5,73653	-3,31363	8,31780	2,84107
<b>6</b>	4,08517	-7,20296	10,75011	-0,61403
<b>7</b>	4,04568	-7,28811	10,80160	-0,69251

Figura 7 - Allineamento della scansione A al posizionamento topografico

Le coordinate così determinate sono state quindi utilizzate per eseguire la registrazione delle due scansioni utilizzando la procedura automatizzata di calcolo.

La prima fase di tale applicazione, come già messo in evidenza nella precedente pubblicazione, consiste nell'inserimento di alcuni input, quali:

- numero di target,
- numero dei vertici di controllo,
- coordinate dei target nel sistema A di destinazione,
- coordinate dei target nel sistema B di origine,
- coordinate dei vertici di controllo nel sistema B di origine,
- coordinate note (acquisite topograficamente) dei vertici di controllo nel sistema A di destinazione,
- valore dello scarto ammissibile  $\Delta$  tra le coordinate note dei vertici di controllo e le corrispondenti coordinate calcolate mediante rototraslazione.

Il numero di combinazioni semplici utilizzate dalla procedura è calcolato automaticamente una volta assegnato il numero di target.  
 La seconda fase restituisce i valori dei parametri ottimali di rototraslazione e due diagrammi (figg. 8-9-10).

$a_x=$	-2,04136	(m)
$a_y=$	-5,57399	(m)
$\theta=$	-1,01414	(rad)

Figura 8 - Parametri della trasformazione

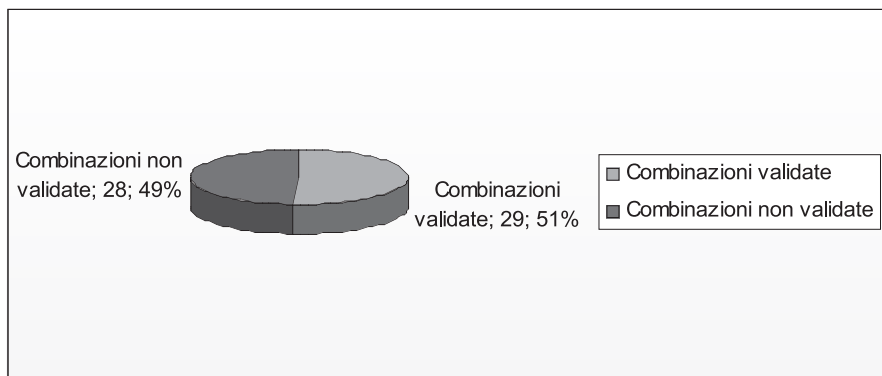


Figura 9 - Combinazioni di target validate dalla procedura di ottimizzazione

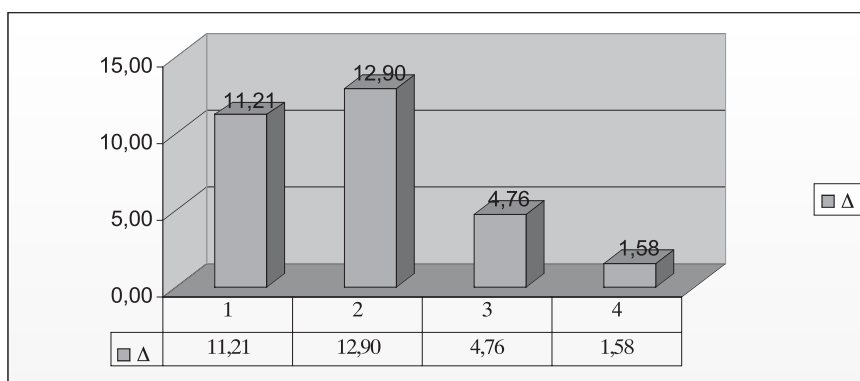


Figura 10 - Scarti sul posizionamento dei punti di controllo dopo l'applicazione dei parametri ottimizzati

Il primo grafico evidenzia, in valore assoluto e percentuale, il numero di combinazioni validate, ovvero che sono state implementate nella procedura, in quanto, per tutti i punti di controllo, danno luogo ad uno scarto inferiore al valore ammissibile.

Il secondo diagramma restituisce invece gli scarti sul posizionamento dei punti di controllo dopo l'applicazione dei parametri ottimizzati.

L'elaborazione ha evidenziato che, assunto uno scarto ammissibile pari a 18 mm, risultano validate 29 combinazioni su 57 (51% del totale), con uno scarto massimo di 12 mm sul posizionamento dei punti di controllo (vertice 9), mentre il valore minimo (1,58 mm) si verifica per il target 12.

Tali risultati sono certamente in linea con le aspettative, dal momento che, partendo da una precisione di targa di  $\pm 3$  mm, si riesce a contenere i residui sulle coordinate dei vertici di controllo nell'intorno di 1 cm e con valori comunque significativamente più bassi della tolleranza assegnata.

Si consideri inoltre che l'attendibilità della procedura è confermata dalla circostanza che i parametri ottimizzati sono stati derivati da una popolazione di terne superiore al 50% delle combinazioni disponibili.

### 3. Conclusioni

I parametri di rototraslazione determinati mediante l'implementazione di un insieme ridondante di sistemi risolutivi sono stati confrontati con gli stessi parametri calcolati dal software Faro Scene in dotazione al laser scanner LS 880 utilizzato per le scansioni.

I risultati ottenuti indicano un corretto funzionamento del metodo, dal momento che gli scarti tra i singoli parametri calcolati con i due software si possono ritenere fisiologici.

Occorre infatti considerare dei fattori di disomogeneità tra le due procedure, quali un approccio concettuale sostanzialmente diverso ed il differente numero di target utilizzati nelle due applicazioni (soltanto tre punti doppi con Faro Scene, sei segnali, combinati fino a originare 57 triplette di parametri risolutivi con la procedura di implementazione).

	$a_x$ (m)	$a_y$ (m)	$\theta$ (°)
<b>Faro Scene</b>	-6,88473	1,03601	359,9004
<b>Metodo proposto</b>	-6,87685	1,04451	359,9551

Figura 11 - parametri di rototraslazione calcolati con Faro Scene e con il metodo proposto

I residui sui parametri, pur essendo di un certo rilievo in termini assoluti, sono comunque di ordine comparabile con la precisione di posizionamento del laser scanner. Il risultato conseguito, considerata la finalità del test e, si ribadisce, la non omogeneità dei due sistemi utilizzati, è decisamente confortante, attestando di conseguenza l'attendibilità del metodo proposto.

	$\Delta$	$\Delta$ %
Scarto su $a_x$	$7,88 \times 10^{-3}$	1,14%
Scarto su $a_y$	$8,50 \times 10^{-3}$	0,82%
Scarto su $\theta$	$5,47 \times 10^{-2}$	0,015%

Figura 12 - scarti assoluti e percentuali tra i parametri di rototraslazione calcolati con Faro Scene e con il metodo proposto

Ulteriori test di laboratorio, in cui è stato utilizzato come termine di paragone il software Cyclone della Leica Geosystems, hanno successivamente confermato la corretta impostazione dell'applicativo.

### Ringraziamenti

Si ringraziano l'Istituto di Tecniche Spettroscopiche del C.N.R. di Messina e, in particolare, il dr. Cirino Vasi ed il dr. Franco Aliotta per la cortese e preziosa collaborazione.

### Bibliografia:

- Chillemi M., Giacobbe L., 2007: "L'allineamento delle scansioni laser scanner mediante l'implementazione di un insieme ridondante di sistemi risolutivi", Atti 11<sup>a</sup> Conferenza ASITA
- Chillemi M., Giacobbe L., 2007: "Influenza della procedura di allineamento sulla precisione del modello restituito", Atti 11<sup>a</sup> Conferenza ASITA
- Guerra F., Balletti C., 2006: "Rilievo con laser scanner 3D: applicazioni per la conoscenza dei beni culturali" in "Laser scanning terrestre" – ed. CISM
- Rinaudo F., 2002: "La tecnica laser scanning: applicazioni architettoniche e urbanistiche" in "La tecnica del laser scanning: teoria ed applicazioni" – ed. CISM