

LASER SCANNING TERRESTRE: CONTROLLO DELLA PRECISIONE MEDIANTE CONFRONTO CON RILIEVO A.P.

Massimo CHILLEMI, Luigi GIACOBBE¹

DRP Facoltà di Ingegneria Università di Messina, 0903977208, massimochillemi@ingegneria.unime.it,
studiogiacobbe@tiscali.it

Riassunto

La sempre più diffusa applicazione del laser scanning 3D in ambito terrestre pone il problema di testare l'affidabilità di tale procedura in termini di precisione, con l'obiettivo di impostare correttamente il progetto del rilievo in relazione alle finalità specifiche che si intendono conseguire (rilievo architettonico, rilievo urbanistico, monitoraggio ambientale, monitoraggio e/o controllo strutturale). La presente nota si riferisce ad un'esperienza di campionamento di misure acquisite con laser scanner a tempo di volo e testate mediante un rilievo di alta precisione eseguito con stazione totale. L'esperienza è stata realizzata di concerto con la "Archilab s.a.s. di Paolo Zappulla & C." società con sede in Floridia (SR), che opera nel campo del rilievo architettonico.

Utilizzando il laser scanner a tempo di volo modello LEICA HDS 3000 in dotazione all'"Archilab", nel corso di diverse stazioni sono state acquisite le coordinate di alcune decine di punti presegnalizzati mediante appositi target. Gli stessi punti di controllo sono stati contemporaneamente battuti nell'ambito di un rilievo tradizionale di alta precisione eseguito con una stazione totale NIKON NPL-350, consentendo il controllo della precisione nel rilievo di grandezze lineari ed angolari.

Abstract

The more and more diffused application of the laser scanning 3D in circle earthling sets the problem to make a will the reliability of such procedure in terms of precision, with the objective to correctly plan the project of the relief in relationship to the specific finalities that they intends to achieve (architectural relief, urbanistic relief, environmental monitoraggio, monitoraggio e/o structural control). The present note refers to an experience of sampling of measures acquired by laser scanner 3D and checked by a Tall Precision survey performed with total station.

Experience has been realized of concert with the company "Archilab s.a.s. di Paolo Zappulla & C." headquartered in Floridia (SR), wich carries out architectural surveies by a laser scanner 3D LEICA HDS 3000. Using such instrumental endowment, were acquired, during different stations, the coordinates of some about ten points pre-signalized through special targets. The same checkpoints have contemporarily been beaten in the circle of a traditional survey of tall precision performed with a total station NIKON NPL-350, allowing the control of the linear and angular accuracy.

1. Premesse

Il presente lavoro prende le mosse dalla versatilità della tecnica del laser scanning, che si applica a campi ben differenti, quali la cartografia, il rilievo architettonico, la pianificazione territoriale, il monitoraggio e controllo delle deformazioni e dei dissesti e la costruzione di opere in galleria.

Una consapevole applicazione di tale procedura deve essere infatti di volta in volta applicata con piena coscienza dei limiti di precisione conseguibili, verificando che, in funzione della finalità del rilievo, l'ordine di grandezza delle misure eseguite sia accettabile o meno. È quindi essenziale conoscere a priori, mediante l'esecuzione di opportuni test, il valore medio dell'incertezza finale, sia con riferimento alla singola scansione che, nel caso di allineamento di più scansioni, in relazione al modello finale restituito. Di seguito, si intendono presentare le prime elaborazioni dei dati ottenuti da alcune esperienze di rilievo condotte con la metodologia del laser scanner. In particolare, saranno esposti e discussi i risultati del confronto tra misure lineari ed angolari calcolate elaborando due database, di cui uno rilevato con una procedura topografica di tipo classico eseguita mediante stazione totale e l'altro acquisito con laser scanner 3D.

Il lavoro fin qui condotto è stato reso possibile dalla collaborazione della ARCHILAB di Floridia (SR), società che già da alcuni anni ha adottato la tecnica del laser scanning terrestre e che ha consentito, con la propria strumentazione ed il proprio personale tecnico, la realizzazione dei test di rilievo su cui sono state eseguite le elaborazioni esposte nel seguito.

¹ Il contributo dei due Autori alla stesura del presente articolo è da intendersi paritetico.

2. Il rilievo

Il campionamento e confronto delle misure è stato eseguito sui dati forniti da un rilievo eseguito a Siracusa in Piazza San Giovanni (fig. 1), articolato in venti scansioni ed integrato da un rilievo topografico dei target con stazione totale. I rilievi sono stati eseguiti con un laser scanner LEICA HDS 3000, di cui si riportano le principali caratteristiche tecniche:

- campo di vista massimo di 360°x270°;
- campo di vista e densità di scansione completamente selezionabile;
- mirino con camera digitale per ottenere automaticamente la sovrapposizione delle foto al rilievo;
- dimensione dello spot da 6mm a 50m;
- precisione di posizionamento di 6 mm a 50m;
- misura dell'altezza strumentale;
- stazione su punti di coordinate note;
- sistema di alimentazione flessibile, sostituibile durante il funzionamento (hot swap);
- tasto QuickScan™ per una semplice definizione del campo di vista.

Per il rilievo topografico dei target è stata invece utilizzata la stazione totale PULSE LASER STATION NPL-350 della NIKON.



Figura 1 – Piazza S. Giovanni (SR): posizionamento dei target

3. Il confronto tra scansione laser e rilievo topografico

I laser scanner a tempo di volo a distanze di 20-50 m hanno incertezze di posizionamento dichiarate dell'ordine di alcuni millimetri. In letteratura sono presenti anche numerosi test di precisione condotti confrontando laser scanner diversi, ma non si è invece reperito alcun esempio di raffronto assumendo come termine di paragone un rilievo topografico classico.

Si è quindi ritenuto opportuno eseguire un test di questo tipo utilizzando il rilievo di inquadramento generale dei target condotto con la stazione totale NIKON PULSE LASER STATION NPL-350.

Per superare il problema posto dal diverso orientamento del rilievo topografico rispetto alle varie scansioni, il confronto è stato eseguito su distanze ed angoli planimetrici. Nella tabella in figura 2 sono elencate le coordinate dei target rilevate con la stazione totale, mentre nelle tabelle in figura 5 sono riportati i corrispondenti valori calcolati delle distanze e degli angoli su cui è stato effettuato il controllo.

Target	X (m)	Y (m)	Target	X (m)	Y (m)	Target	X (m)	Y (m)
1	25,6820	43,0352	14	23,6869	41,6953	24	21,6987	8,6614
3	10,8973	48,4751	15	20,5138	42,5990	25	46,4836	5,4945
4	21,4826	42,2486	16	16,3894	43,6991	26	32,6445	19,3533
7	11,3322	11,8138	17	18,3854	17,7207	27	27,6105	20,9748
8	18,2393	23,6752	18	18,5909	17,6098	28	25,4566	29,2858
9	23,0228	26,8189	19	17,7863	10,5636	29	54,3773	19,6460
10	30,6388	28,9652	20	10,8941	12,3957	30	54,3557	26,1941
11	52,4162	19,1109	21	41,0715	3,7658	31	56,5408	28,6291
12	37,6772	17,9443	22	26,8072	7,5434			
13	27,7962	20,7422	23	22,9735	8,5979			

Figura 2 - coordinate dei target da rilievo topografico

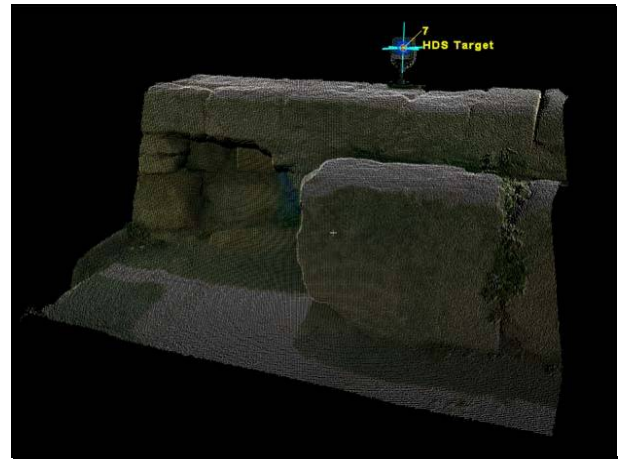


Figura 3 – Piazza S. Giovanni (SR): nuvole di punti

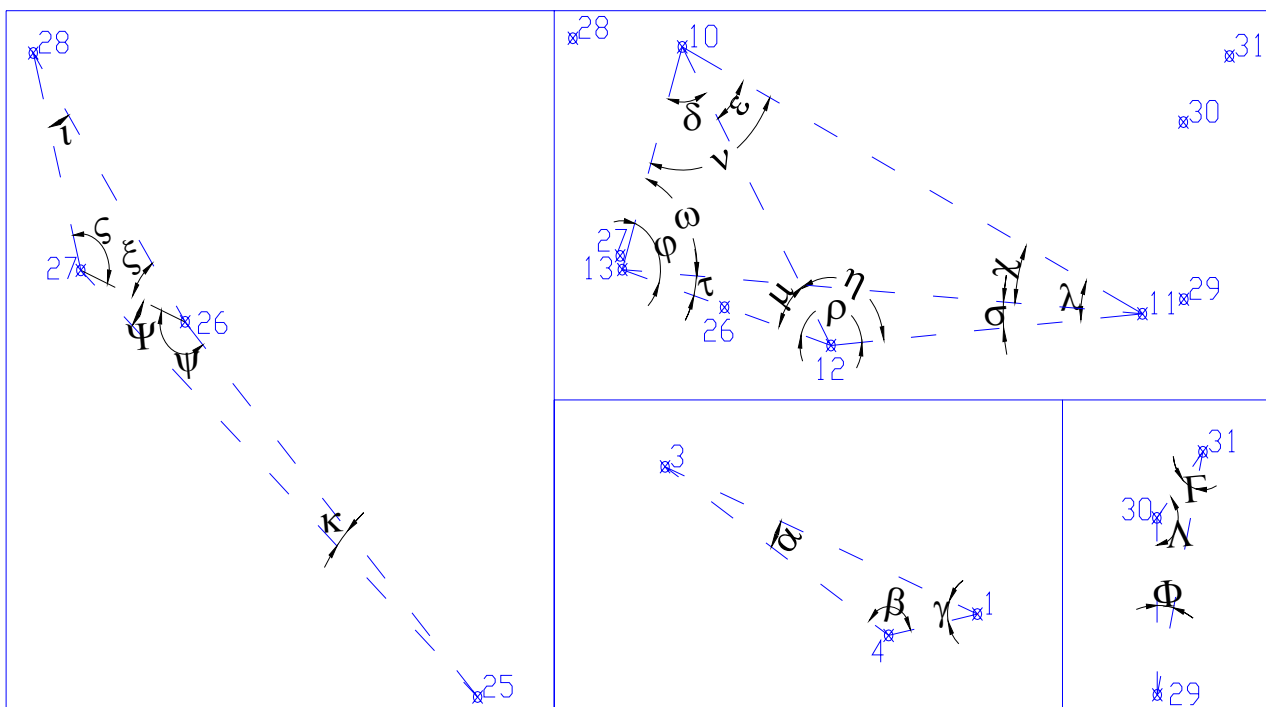


Figura 4- distanze ed angoli oggetto di controllo

Target	Distanza (m)	Target	Distanza (m)
1-2	-----	11-13	24,6740
1-3	15,7537	12-13	10,2695
2-3	-----	25-26	19,5854
1-4	4,2724	25-27	24,4097
3-4	12,2808	26-27	5,2887
4-9	15,5064	26-28	12,2605
10-11	23,9032	27-28	8,5856
10-12	13,0767	29-30	6,5481
10-13	8,7005	29-31	9,2400
11-12	14,7851	30-31	3,2717

$\alpha = 1-4-3$	138°,92572	$\chi = 10-11-12$	28°,87236
$\beta = 1-3-4$	10°,26440	$\sigma = 12-11-13$	8°,31636
$\gamma = 3-1-4$	30°,80988	$\tau = 11-13-12$	12°,01920
$\delta = 12-10-13$	51°,63370	$\psi = 25-26-27$	152°,81350
$\epsilon = 12-10-11$	33°,08920	$\zeta = 25-27-26$	21°,50540
$\varphi = 10-13-12$	86°,74030	$\kappa = 26-25-27$	5°,68110
$\eta = 11-12-10$	118°,03844	$\iota = 26-28-27$	21°,36300
$\lambda = 10-11-13$	20°,55600	$\xi = 27-26-28$	36°,25340
$\mu = 10-12-13$	41°,62600	$\Psi = 26-27-28$	122°,38360
$\nu = 11-10-13$	84°,72290	$\Lambda = 29-30-31$	137°,90710
$\omega = 11-13-10$	74°,72110	$\Gamma = 29-31-30$	28°,36261
$\rho = 11-12-13$	159°,66444	$\Phi = 30-29-31$	13°,73029

Figura 5 - distanze ed angoli rilevati con stazione totale

Nella tabella in figura 6 sono invece riportate le coordinate rilevate con il laser scanner durante sedici delle venti scansioni eseguite. Sono stati infatti esclusi i dati acquisiti durante le scansioni 3, 4, 5 e 6 in quanto riferiti ad un solo target per ogni stazione.

Elaborando queste coordinate sono state successivamente calcolati gli stessi elementi già precedentemente determinati a partire dai risultati del rilievo topografico, in modo da poter impostare un confronto omogeneo (fig. 7).

La ridondanza con cui è stata effettuata la scansione dei target 1, 3, 10, 11, 12, 13, 25, 26, 27, 28, 29, 30 e 31 ha consentito di calcolare più volte alcuni elementi, per cui in questi casi si è attribuito alle grandezze in esame il valore medio. Il confronto tra le misure, condotto sia in termini assoluti che percentuali, è riportato nelle tabelle in figura 8 (distanze) ed in figura 9 (angoli).

Scan.	Targ.	X (m)	Y (m)	Scan.	Targ.	X (m)	Y (m)	Scan.	Targ.	X (m)	Y (m)
1	1	4,5524	-1,8166	11	11	4,2884	2,1605	17	26	8,4890	-23,0232
	2	4,6276	-6,2051		12	1,3484	-12,3106		27	3,9877	-20,2349
	3	-3,4064	-15,4082		13	-4,0800	-21,0379		28	3,8916	-11,6529
2	1	-11,2759	4,2138	12	10	-15,5068	-5,5172	18	26	20,0759	-9,3147
	3	4,4729	4,1084		12	-3,5168	-0,2982		27	24,0333	-12,8301
	4	-7,5919	6,3782		13	-7,8345	-9,6216		28	22,6662	-21,3014
7	4	5,7735	13,3769	13	10	-16,9809	3,7292	19	29	1,4440	-1,8641
	9	4,2205	-2,0533		12	-4,5565	-0,3650		30	-3,6282	2,2660
8	10	-6,6223	6,7247		13	-13,9921	-4,4393		31	-4,1271	5,4986
	11	-8,9174	30,5163	14	10	-6,2088	-11,1090	20	29	-5,3008	-9,9513
	12	-0,5698	18,3247		11	-20,3769	8,1332		30	-3,3705	-3,6951
	13	1,9218	8,3527		12	-6,9592	1,9491		31	-0,5590	-2,0238
9	10	-5,2488	-17,9025		13	0,2928	-5,3337				
	11	-27,2278	-27,2902	15	25	5,1013	-4,0790				
	12	-18,1355	-15,6448		26	-12,3499	-12,9533				
	13	-9,3861	-10,2524		27	-15,4530	-17,2392				
10	10	10,7053	-2,7032	16	25	-6,5764	9,6432				
	11	-12,5614	-8,1383		26	-2,9727	-9,5985				
	12	-1,5937	1,7511		27	0,2674	-13,7833				
	13	7,9561	5,5500		28	-2,6414	-21,8580				

Figura 6 - coordinate rilevate con il laser scanner

Scan.	Targ.	Distanza (m)	Azimut (°)	Scan.	Targ.	Distanza (m)	Azimut (°)	Scan.	Targ.	Distanza (m)	Azimut (°)
1	1-2	4,3891	359,01829	10	11-12	14,7679	47,95952	15	25-26	19,5780	243,04571
	1-3	15,7504	210,35186		11-13	24,6645	56,29067		25-27	24,4064	237,36998
	2-3	12,2165	221,11988		12-13	10,2777	68,30739		26-27	5,2913	215,90549
2	1-3	15,7492	90,38345	11	11-12	14,7667	191,48411	16	25-26	19,5763	169,39219
	1-4	4,2728	59,56519		11-13	24,6616	199,83598		25-27	24,4057	163,71484
	3-4	12,2765	280,65475		12-13	10,2778	211,88170		26-27	5,2925	142,25101
7	4-9	15,5082	185,74728	12	10-12	13,0766	66,47750	17	26-27	5,2949	301,77587
8	10-11	23,9020	354,48991		10-13	8,7012	118,14515		26-28	12,2646	337,98484
	10-12	13,0841	27,55408		12-13	10,2746	204,84902		27-28	8,5825	359,35844
	10-13	8,6978	79,21213	13	10-12	13,0816	108,23855	18	26-27	5,2933	131,61502
	11-12	14,7756	145,60052		10-13	8,6981	159,90276		26-28	12,2634	167,80601
	11-13	24,6721	153,93886		12-13	10,2777	246,64527		27-28	8,5809	189,16737
	12-13	10,2786	165,97133	14	10-11	23,8956	323,63560	19	29-30	6,5410	309,15462
9	10-11	23,8999	246,87164		10-12	13,0796	356,71104		29-31	9,2329	322,88647
	10-12	13,0830	279,93715		10-13	8,6963	48,38567		30-31	3,2709	351,22654
	11-12	14,7745	37,98141		11-12	14,7742	114,74456	20	29-30	6,5472	17,14719
10	10-11	23,8931	256,85149		11-13	24,6697	123,08539		29-31	9,2374	30,88557
	10-12	13,0808	289,90875		12-13	10,2777	135,12141		30-31	3,2707	59,27058
	10-13	8,6990	341,57671				108,23855				

Figura 7 - distanze ed azimuth calcolati con il database laser scanner

Target	Distanza RT (m)	Distanza LS (m)	Δ (mm)	Δ (%)
1-3	15,7537	15,7498	3,9	0,0248
1-4	4,2724	4,2728	0,4	0,0094
3-4	12,2808	12,2765	4,3	0,0350
4-9	15,5064	15,5082	1,8	0,0116
10-11	23,9032	23,8977	5,5	0,0230
10-12	13,0767	13,0810	4,3	0,0329
10-13	8,7005	8,6985	2,0	0,0230
11-12	14,7851	14,7718	13,3	0,0900
11-13	24,6740	24,6670	7,0	0,0284
12-13	10,2695	10,2774	7,9	0,0769
25-26	19,5854	19,5772	8,2	0,0419
25-27	24,4097	24,4061	3,6	0,0147
26-27	5,2887	5,2930	4,3	0,0813
26-28	12,2605	12,2640	3,5	0,0285
27-28	8,5856	8,5817	3,9	0,0454
29-30	6,5481	6,5441	4,0	0,0611
29-31	9,2400	9,2352	4,8	0,0519
30-31	3,2717	3,2708	0,9	0,0275
Scarto medio				0,0393%=3,93x10 ⁻⁴

Figura 8 - confronto tra le misure lineari calcolate con i due database

	Angolo RT (°)	Angolo LS (°)	Δ (°)	Δ (%)
$\alpha=1-4-3$	138,92572	138,91044	0,01528	0,0109987
$\beta=1-3-4$	10,26440	10,27130	0,00690	0,0672226
$\gamma=3-1-4$	30,80988	30,81826	0,00838	0,0271991
$\delta=12-10-13$	51,63370	51,66650	0,03280	0,0635244
$\epsilon=12-10-11$	33,08920	33,065583	0,02362	0,0713737
$\varphi=10-13-12$	86,74030	86,73386	0,00644	0,0074245
$\eta=11-12-10$	118,03884	118,04375	0,00491	0,0041596
$\lambda=10-11-13$	20,55600	20,55403	0,00197	0,0095836
$\mu=10-12-13$	41,62600	41,59983	0,02617	0,0628694
$\nu=11-10-13$	84,72290	84,73250	0,00960	0,0113311
$\omega=11-13-10$	74,72110	74,72035	0,00075	0,0010037
$\rho=11-12-13$	159,66444	159,62672	0,03772	0,0236245
$\chi=10-11-12$	28,87236	28,89066	0,01830	0,0633824
$\sigma=12-11-13$	8,31636	8,34055	0,02419	0,2908724
$\tau=11-13-12$	12,01920	12,03273	0,01353	0,1125699
$\psi=25-26-27$	152,81350	152,85930	0,04580	0,0299712
$\zeta=25-27-26$	21,50540	21,46416	0,04124	0,1917658
$\kappa=26-25-27$	5,68110	5,67654	0,00456	0,0802661
$\iota=26-28-27$	21,36300	21,36136	0,00164	0,0076768
$\xi=27-26-28$	36,25340	36,19099	0,06241	0,1721494
$\Psi=26-27-28$	122,38360	122,44765	0,06405	0,0523354
$\Lambda=29-30-31$	137,90710	138,06470	0,15760	0,1142798
$\Gamma=29-31-30$	28,36261	28,36254	7E-05	0,0002468
$\Phi=30-29-31$	13,73029	13,73512	0,00483	0,0351777
Scarto medio				0,0630%=6,30x10 ⁻⁴

Figura 9 - confronto tra le misure angolari calcolate con i due database

4. Conclusioni

Dall'esame di tali risultati si evince una sostanziale congruità dei dati rilevati con il classico metodo topografico e con il laser scanner 3D. Relativamente alle misure lineari, lo scarto si attesta infatti su

un valore medio pari allo 0,0393%, corrispondente ad un valore assoluto di $3,93 \times 10^{-4}$, mentre per quanto riguarda le misure angolari si è ottenuto uno scarto percentuale medio dello 0,063%, corrispondente a $6,30 \times 10^{-4}$. Appare inoltre significativo il basso valore della dispersione degli scarti attorno alla media. A conferma di quanto desunto dal confronto tra le misure elaborate dai due database acquisiti, nelle figg. 10 e 11 sono riportati gli istogrammi relativi alla distribuzione degli scarti rispettivamente per le distanze e per gli angoli esaminati.

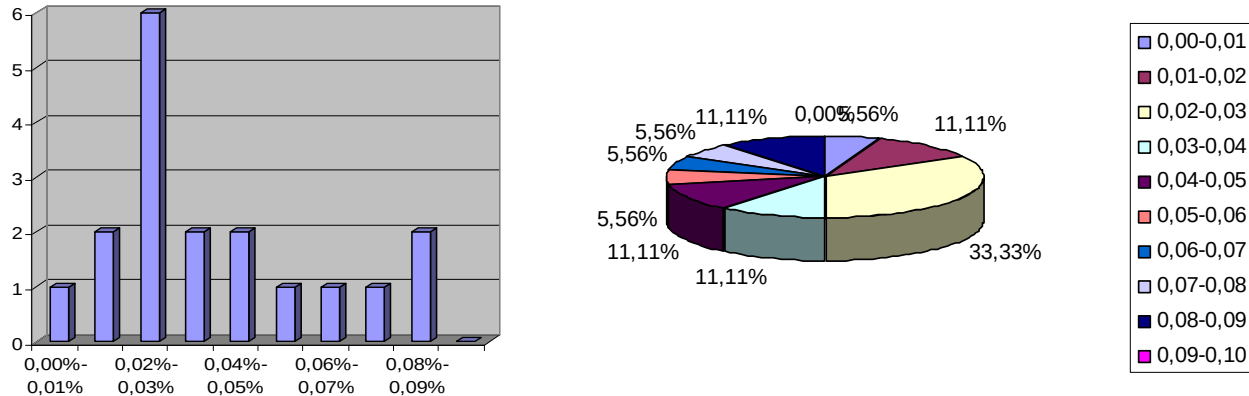


Figura 10 - distanze: distribuzione degli scarti

In particolare, si nota che, nel caso delle grandezze lineari, il 33,33% degli scarti (6 eventi su 18) è concentrato nell'intervallo 0,02%-0,03% e, fatto ancora più significativo, il 72,22% è compreso tra lo 0,00% e lo 0,05%.

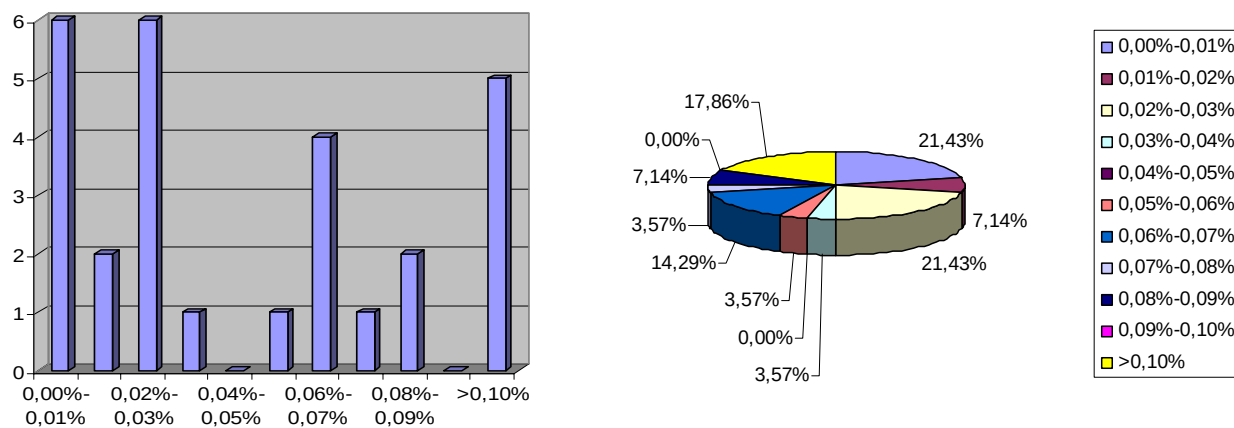


Figura 11- angoli: distribuzione degli scarti

La tendenza appare meno marcata nel caso delle misure angolari, ma, in ogni caso, si nota che il 55,55% degli scarti ha un valore inferiore allo 0,05% e l'81,48% è compreso nell'intervallo 0,00%-0,10%.

Lo studio sin qui condotto non può naturalmente ritenersi esaustivo, ma può comunque indicare una traccia della metodologia da adottare per mantenere il controllo su uno strumento di enormi potenzialità e, proprio per questo, da utilizzare con estrema consapevolezza e prudenza.

Ringraziamenti

Si ringraziano l'Archilab (www.archilab.info) e, in particolare, i direttori tecnici Paolo Zappulla e Massimiliano Failla per la cortese e preziosa collaborazione.

Bibliografia:

Guerra F., Balletti C., 2006: "Rilievo con laser scanner 3D: applicazioni per la conoscenza dei beni culturali" in "Laser scanning terrestre" – ed. CISM
 Boehler W., Bordas Vicent M., Marbs A., 2003: "Investigating laser scanner accuracy" – Institute for Spatial Information and Surveying Technology – www.i3mainz.fh-mainz.de
 Marbs A., 2002: "Experiences with laser scanning at i3mainz – Institute for Spatial Information and Surveying Technology – www.i3mainz.fh-mainz.de
 Rinaudo F., 2002: "La tecnica laser scanning: applicazioni architettoniche e urbanistiche" in "La tecnica del laser scanning: teoria ed applicazioni" – ed. CISM