

Valutazione quali-quantitativa della luminanza della radiazione laser scanner per la classificazione dei materiali

Costantino Domenica (*), Maria Giuseppa Angelini(*), Domenico Petruzzelli (**), Giovanni Pesce

(* DIASS – Politecnico di Bari viale del Turismo, 8 - 74100 Taranto, d.costantino@poliba.it, tel, 099/4733215

(**) DICA – Politecnico di Bari via Orabona, 4 - 70126 Bari, d.petruzzelli@poliba.it, tel, 080/5963777

Riassunto

L'obiettivo della sperimentazione è stato quello di valutare la possibilità di condurre analisi chimiche qualitative dei materiali costitutivi di opere artistiche ed architettoniche sottoposte a scansione laser scanner terrestre (LST), combinando alla necessità di ottenere dati topografici e metrici delle infrastrutture, anche informazioni di carattere strutturale sulla costituzione dei materiali con l'obiettivo ultimo di valutarne il loro stato di conservazione. Tale obiettivo è segnato dalla recente emergenza conservativa dell'immenso patrimonio artistico-architettonico che l'Italia dispone, tanto da considerare l'intero territorio nazionale "museo diffuso". I raggi laser coerenti, di opportuna frequenza ed energia nell'intervallo del visibile, consentono di interpretare, in base ai fenomeni di diffrazione ottica, i primi piani reticolari dei solidi cristallini. Come è noto, tali fenomeni interessano piani cristallini più profondi allorquando vengono utilizzate radiazioni elettromagnetiche a più alta energia, principi che da oltre mezzo secolo vengono applicati nelle tecniche diffrattometriche d'indagine strutturale RX. La sperimentazione condotta ha consentito di evidenziare che, a parità di condizioni esterne, la luminanza di ritorno dalla scansione è correlata linearmente al grado di cristallinità dei materiali sottoposti a scansione; inoltre, le distribuzioni gaussiane dei valori di luminanza si assestano su andamenti a maggiore varianza per i campioni di maggiore cristallinità e, viceversa, per i materiali meno cristallini presentano piccole varianze. I risultati confermano che i fenomeni di diffrazione ottica di raggi laser coerenti nelle operazioni LST possano rappresentare un utile strumento analitico fisico-chimico dei solidi sottoposti a scansione.

Abstract

The main objective of this experimentation is the evaluation of potentialities of terrestrial laser scanner technology to carry-out, beyond topographic and morphological detection, non-invasive physico-chemical analysis of the scanned objects, with the final aim to evaluate the conservation of historical landmarks and cultural heritage of which Italy is the world leading country. Coherent lasers in the visible light range may lead to optical diffraction phenomena thus allowing for structural investigation and chemical analysis of the scanned objects. Application of LST in the visible range ($\lambda = 585 \text{ nm}$) to a set of solid samples commonly applied in the construction (building) industry, differing in the crystallinity of their respective lattice, led to the following conclusions: a linear correlation was established between degree of crystallization of solids and returning luminance of lasers after diffraction onto the solids surface; Gauss distribution of luminance data from diffraction onto less crystalline (plastics, glass) was much narrow than more crystalline materials (metals, alloys, plasters). Both findings confirm that laser diffraction methods may be applied for fast physical and chemical determinations after simple LST scanning of solid samples. Bragg modeling of data, extensively applied for Xray diffraction methods (XRD), may be truly co-opted to Laser Scanning.

1. Introduzione

Sono state realizzate prove di laboratorio su campioni di materiali diversi, per natura e origine, al fine di verificare l'eventuale variazione della luminanza riflessa del raggio laser proveniente da strumentazione terrestre. In particolare, utilizzando il LST HDS 3000 Leica caratterizzato da luce laser visibile nella regione del verde, con lunghezza d'onda pari a 530 μm ed una potenza continua in uscita inferiore i 5 mW. Da letteratura è già noto che le radiazioni laser nell'intervallo di frequenze del visibile possono dar luogo ad interferenza ottica in seguito ad interazione con materiali solidi cristallini e, conseguentemente, instaurare fenomeni di diffrazione luminosa caratteristici della struttura cristallina del materiale stesso.

2. I campioni sottoposti ad indagine

Per la sperimentazione condotta sono stati selezionati otto campioni di materiali caratterizzati da un diverso grado di cristallinità e riportati nella tabella seguente.

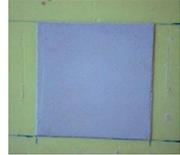
			
Vetro liscio opacizzato - pellicola bianca materiale plastico (300x300x4)	Vetro martellato (300x300x4)	Ottone lucidato lappato (300x100x8)	Acciaio lucidato lappato (300x200x8)
			
Intonaco cemento ruvido (200x200x4)	Intonaco cemento liscio (200x200x4)	Intonaco a calce bianco liscio (300x300x5)	Intonaco a calce colorato ruvido (350x300x4)

Tabella 1 – Campioni sottoposti ad indagine.

2.1 Acquisizione dei dati sperimentali

In figura 1 si riporta lo schema di ripresa delle scansioni con il sistema LST rispetto ai campioni nelle due differenti posizioni di acquisizione. Si può notare che sono stati acquisiti i dati da una posizione quasi nadirale e da un'altra inclinata rispetto al nadir di 23°, denominate di seguito come posizione nadir e left. La distanza left-nadir è di 1.180 mm, inoltre in posizione nadir la distanza di scansione è pari a 2.777 mm.

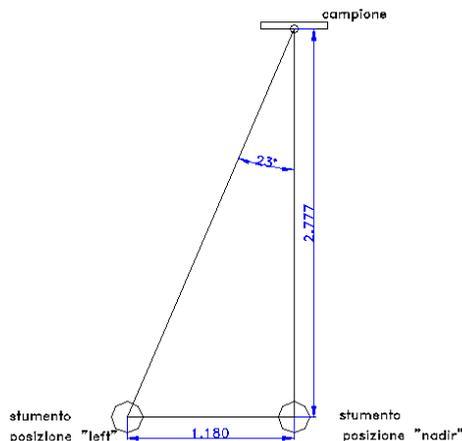


Figura 1 – Posizioni relative del campione rispetto al sistema LST.

Di seguito (fig. 2) sono riportate alcune immagini relative alle scansioni effettuate sui campioni, visualizzate in ambiente Cyclone in modalità *Intensity Map* che evidenzia la variazione dell'intensità della luminanza con la variazione di colori.

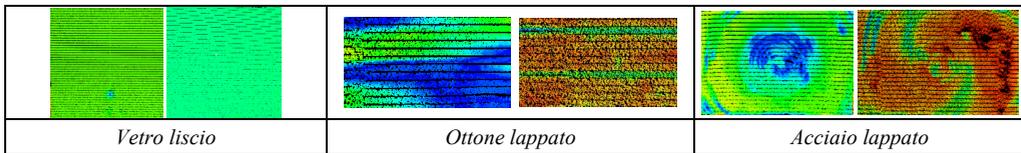


Figura 2 – Esempi di scansione in ripresa nadir (sx) e left (dx) per alcuni campioni analizzati.

2.2 I dati acquisiti

I parametri acquisiti durante le scansioni sono stati: la luminanza (R), che rappresenta l'intensità dell'onda elettromagnetica incidente di ritorno (funzione di: distanza laser-oggetto, riflettività del materiale, angolo di incidenza sulla superficie scansionata, colore della superficie scansionata, grado di rugosità superficiale, geometria dell'oggetto, natura fisica e chimica in relazione alla sua struttura molecolare), le coordinate cartesiane rispetto al centro dello strumento espresso in mm e l'informazione RGB.

In via preliminare, quest'ultima è stata esclusa dall'analisi in quanto acquisita con fotocamera digitale a bassa risoluzione, caratteristica del laser utilizzato.

Dall'insieme dei dati sono stati estrapolati i valori dei suddetti parametri relativamente alla riga corrispondente alla posizione con zenit 90° e valori azimutali compresi tra $\pm 5^\circ$ alle posizioni nadir (N) e left (L) (fig. 3).

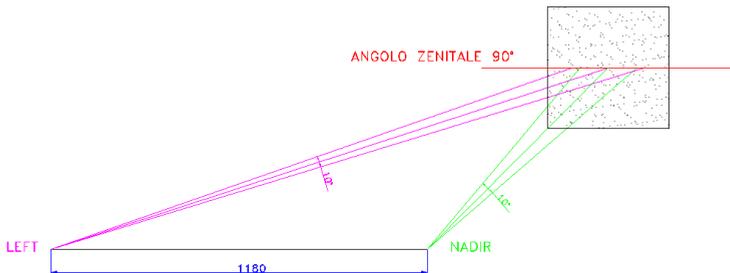


Figura 3 – Schema relativo all'extrapolazione dei dati analizzati.

In tabella 2 sono riportati i valori della luminanza in funzione dei dati geometrici di rilievo. Per l'elaborazione dei dati della tabella relativi a sedici scansioni (8 campioni per due modalità di ripresa) sono stati processati circa 60.000 punti su un totale di 960.000 rilevati.

Campione	intonaco cemento liscio		intonaco cemento ruvido		intonaco a calce colorato		intonaco a calce bianco	
	N	L	N	L	N	L	N	L
tipo scansione								
valore minimo luminanza	0,5132	0,4851	0,5019	0,4710	0,4922	0,4906	0,5127	0,5124
valore massimo luminanza	0,5424	0,5376	0,5403	0,5374	0,5139	0,5131	0,5388	0,5382
range della luminanza	0,0292	0,0525	0,0385	0,0664	0,0217	0,0225	0,0261	0,0259
valore medio della luminanza	0,5181	0,5148	0,5144	0,5153	0,5099	0,5085	0,5113	0,5167
distanza media (m)	2,7869	3,0176	2,7844	3,0003	2,8032	3,0270	2,8049	3,0176

Campione	ottone		acciaio		vetro bianco		vetro smerigliato	
	N	L	N	L	N	L	N	L
tipo scansione								
valore minimo luminanza	0,5081	0,3198	0,4932	0,3868	0,5030	0,4934	0,4099	0,3952
valore massimo luminanza	0,6828	0,4793	0,6728	0,5158	0,5149	0,5123	0,4521	0,4797
range della luminanza	0,1747	0,1596	0,1796	0,1291	0,0119	0,0189	0,0421	0,0845
valore medio della luminanza	0,6326	0,4140	0,6063	0,4170	0,5113	0,5083	0,4187	0,4182
distanza media (m)	2,8138	3,0789	2,7781	3,0718	2,7272	2,9353	2,7179	2,9977

Tabella 2 – Luminanza in funzione dei dati geometrici di rilievo per ciascun campione analizzato.

L'analisi puntuale dei dati è stata condotta sulla media aritmetica dei valori riscontrati lungo il range azimutali di circa 10°, a parità di angolo zenitale di 90°; di seguito se ne riportano i diagrammi (fig. 4).

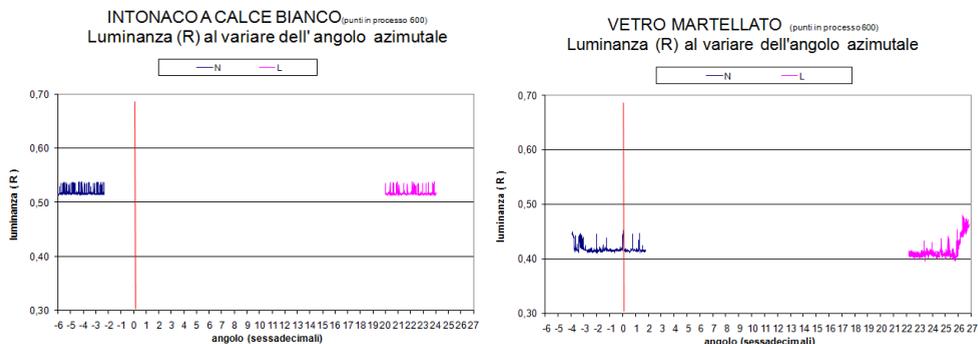


Figura 4 – Luminanza nell'intervallo azimutale di 10° rispetto alla ripresa nadir e left.

2.3 Relazione tra la luminanza e il grado di cristallinità dei materiali

I valori di luminanza, espressi in funzione della variazione dell'angolo di incidenza, a parità di ogni altro parametro sperimentale, variano solo in base al grado di cristallinità dei materiali scansionati. È stata adottata, pertanto, una scala arbitraria dei materiali a partire dal più cristallino, come l'acciaio, sino ad arrivare a quello meno cristallino come il vetro. Tutti gli altri materiali sono stati distribuiti tra detti estremi in posizione congrua rispetto a quanto riportato in letteratura.

Nel diagramma che segue (fig. 5) è visibile l'andamento pressoché lineare fra il valore della luminanza media rilevata (R) e il grado di cristallinità (G) dei materiali indagati.

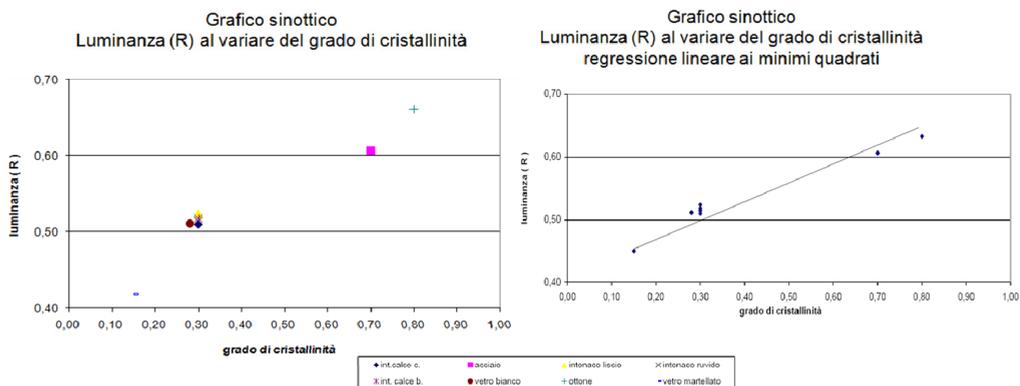


Figura 5 – Luminanza in funzione del grado di cristallinità dei materiali.

Dalla regressione ai minimi quadrati dei dati di luminanza in funzione del grado di cristallinità dei materiali si evince un andamento lineare, nonostante le semplificazioni eseguite sul grado di cristallinità. La retta di regressione ottenuta conferma, quindi, la buona correlazione fra i parametri e questo consente di affermare che i materiali più cristallini presentano, in genere, luminanza più elevata di quelli amorfi. Pertanto, accanto al modello di riflettività ipotizzato, dipendente da colore, rugosità, distanza, angolo incidente, nonché da altri parametri minoritari, per un dato materiale vanno considerati anche gli effetti addizionali relativi alla interazione dell'impulso laser con i piani cristallini corrispondenti ai primi piani atomici reticolari del materiale sottoposto a scansione, in una

sorta di fenomeno di diffrazione ottica subita dal raggio laser incidente in seguito a iterazione con i materiali indagati.

2.4 Analisi dei dati sperimentali alla luce dei fenomeni di diffrazione ottica laser

A conferma dei risultati precedentemente descritti è sufficiente osservare i valori limiti di luminanza in funzione della cristallinità già riportati nella tabella 2 ed evidenziati per alcuni materiali nei seguenti diagrammi (fig. 6).

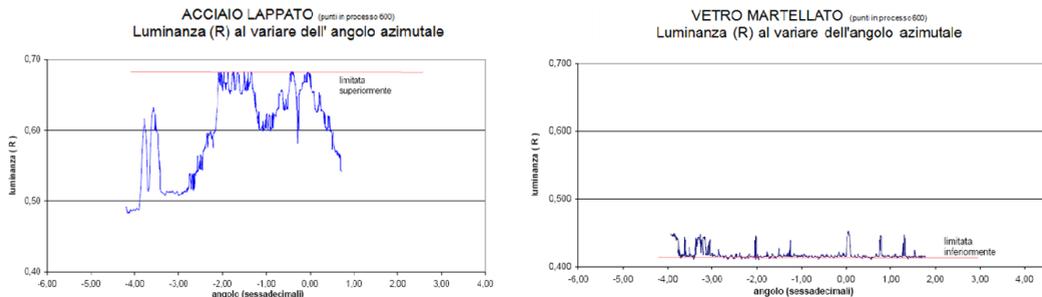


Figura 6 – Valori minimi di luminanza in corrispondenza di materiali vetrosi non cristallini.

L'interpretazione di tale risultato si potrebbe associare alla diversa entità dei fenomeni d'interferenza luminosa della radiazione laser coerente che si svolge sui diversi materiali scansionati. Tale fenomeno può consentire l'individuazione, oltre che degli aspetti geometrici dell'oggetto sottoposto a scansione, della sua composizione qualitativa chimica secondo criteri paralleli a quelli già illustrati in ambito cristallografico in corrispondenza delle tecniche di analisi diffrattometrica ai RX.

3. Conclusioni

I raggi laser coerenti, di opportuna frequenza ed energia nell'intervallo del visibile, consentono di interpretare, in base ai fenomeni di diffrazione ottica, i primi piani reticolari dei solidi cristallini. Come è noto, tali fenomeni interessano piani cristallini più profondi allorché vengano utilizzate radiazioni elettromagnetiche a più alta energia, principi che da oltre mezzo secolo vengono applicati nelle tecniche diffrattometri di indagine strutturale.

La sperimentazione ha consentito di evidenziare i risultati di seguito descritti. A parità di ogni altra condizione di rilievo (luminosità, distanza sorgente oggetto, condizioni ambientali di umidità e temperatura, rugosità e colore della superficie) si rileva che la luminanza di ritorno dalla scansione è correlata linearmente al grado di cristallinità dei materiali sottoposti a scansione; si sottolinea che il grado di rugosità della superficie assume importanza, nel presente contesto, solo quando l'entità di questa è paragonabile alla lunghezza d'onda della radiazione incidente. Le distribuzioni gaussiane dei valori di luminanza si assestano su andamenti a maggiore varianza per campioni di maggiore cristallinità e, viceversa, i meno cristallini presentano distribuzioni a minor varianza (fig. 7). Tale risultato rappresenta un'ulteriore conferma dei fenomeni di diffrazione ottica dei raggi laser coerenti nelle operazioni LST. Sui materiali con più alto grado di cristallinità, infatti, il raggio luminoso incidente è rifratto con maggiore entità rispetto a quelli meno cristallini o amorfi dando luogo, nel primo caso, a fenomeni di dispersione ottica diffusa, con una più ampia distribuzione dei dati di luminanza (es., metalli, acciaio, ottone) e, nel secondo caso, a fenomeni di dispersione ottica localizzata.

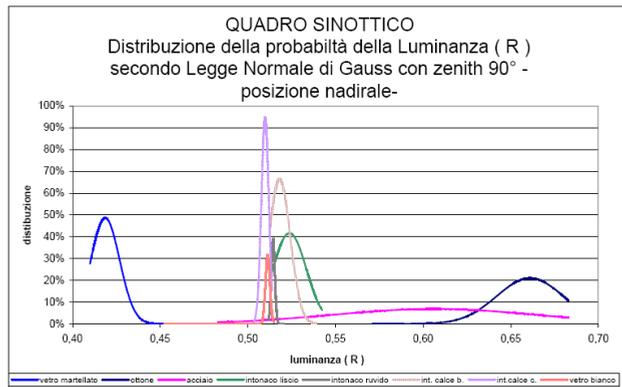


Figura 7 – Distribuzione normale di Gauss dei dati di luminanza per i diversi materiali investigati.

4. Prospettive future

Lo studio, sia pure preliminare, ha evidenziato delle correlazioni tra i valori della luminanza e il grado di cristallinità dei materiali indagati che, in base all'applicazione delle metodiche basate sulla legge di Bragg, potrebbero condurre all'individuazione inequivocabile della natura qualitativa dei materiali sottoposti a scansione con laser scanner terrestre. La possibilità di valutare la natura cristallina dei materiali e del conseguente riconoscimento chimico mineralogico apre nuovi orizzonti nell'indagine speditiva di opere architettoniche, artistiche e dell'ingegneria civile in genere. Sono previsti studi più approfonditi che saranno condotti su ulteriori materiali con caratteristiche cristallografiche differenti; nello specifico, verranno sottoposti ad indagine materiali aventi strutture cristalline metalliche differenti per natura e composizione (es., materiali non ferrosi, leghe diverse), strutture a diverso grado di cristallinità quali materiali plastici di ampio uso commerciale (es., derivati polietilenici, PE; polivinilclorurati, PVC; polimetilmetacrilici, PMMA; poliesteri, PET), strutture decisamente amorfe quali quelle vetrose di diversa natura e origine.

5. Bibliografia

- L. Barazzetti, F. Remondino, M. Scaioni, M. Lo Brutto, A. Rizzi, R. Brumana (2010), "Geometric and radiometric analysis of paintings". *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, 62-67.
- Pelagotti, A., Del Mastio A., De Rosa, A., Piva, A. (2008), "Multispectral imaging of paintings – A way to material identification". *IEEE Signal Processing Magazine*, 25(4): 27-36.
- Guarnieri A., Vettore A., Zanette S. (2006), "Analisi della risposta di un laser scanner terrestre al variare delle caratteristiche di riflettività dei materiali". *Atti 51° Convegno Nazionale SIFET*.
- F. Coren, D. Visintini, M. Balzani, P. Sterzai, G. Prearo, N. Zaltron, (2005) "Un modello geometrico per la calibrazione di dati laser terrestri". *Atti 50° Convegno Nazionale SIFET*.
- Boehler, W., Heinz, G., Marbs, A. (2001), "The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage recording". *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Proceedings of the XVIIIth International Symposium of CIPA, Potsdam, Germany, vol. XXXIV, part 5/C7, 430-436.
- D. Costantino, M. G. Angelini, G. Caprino (2007), "Rapid approach of integrated survey for the conservative analysis of pictures". *The CIPA International Archives for Documentation of Cultural Heritage*, Vol. XXI-2007, vol. I, 247-252.

6. Ringraziamenti

Si ringrazia la Facoltà di Ingegneria di Taranto - Politecnico di Bari per Fondi Provincia 2010.