

Introduzione al sistema Mobile Spatial coordinate Measuring System

Fiorenzo Franceschini, Maurizio Galetto, Domenico Maisano, Luca Mastrogiacomo

Scopo del documento è presentare il sistema Mobile Spatial coordinate Measuring System (MScMS). MScMS è un sistema di misurazione concepito per essere portatile, leggero, di semplice installazione/start-up e al tempo stesso poco costoso e adatto alla misura delle coordinate spaziali di oggetti di dimensioni medio-grandi. Il sistema è costituito da tre parti: una "costellazione" di dispositivi wireless, dotati di sensori ad ultrasuoni da distribuire con una certa libertà attorno all'ambiente di misura; un tastatore-mobile, anch'esso wireless, per rilevare i punti dell'oggetto misurando; un PC in grado di ricevere via Bluetooth le informazioni trasmesse dal tastatore in fase di misurazione e di elaborarle grazie ad un software/interfaccia-utente creato ad hoc. Il sistema MScMS si adatta a diversi ambienti d'uso e non richiede particolari accorgimenti per l'installazione/start-up e la misurazione vera e propria. L'articolo illustra gli aspetti relativi all'architettura hardware/software/firmware e le logiche di funzionamento del sistema. Si descrivono inoltre le principali caratteristiche e soluzioni costruttive adottate per la realizzazione del primo prototipo di MScMS, realizzato nel laboratorio di metrologia industriale e qualità del Dispea (Dipartimento di Sistemi di Produzione ed Economia dell'Azienda) – presso il Politecnico di Torino.

Keyword

Sistema di misura mobile, reti di sensori distribuiti, misure dimensionali, macchina di misura a coordinate (CMM).

Scopo dal presente documento è presentare il sistema Mobile Spatial coordinate Measuring System (MScMS). Si tratta di un nuovo sistema concepito per effettuare con rapidità e semplicità misure dimensionali su oggetti di grandi dimensioni. Un aspetto fondamentale del sistema è la sua "portabilità", ossia la facilità di trasferimento ed installazione [Chen et alii, 2006].

Ai giorni nostri esistono diverse apparecchiature metrologiche per misurare le coordinate spaziali di oggetti, che sfruttano diverse tecnologie (ottiche, meccaniche, elettromagnetiche ecc.). Ricordiamo le macchine di misura a coordinate (o CMM, Coordinate Measuring Machines) i teodoliti/tacheometri, gli apparati per la fotogrammetria, i sistemi GPS, i cosiddetti laser tracker. L'utilizzo di ciascuno di tali sistemi è più o meno appropriato a seconda delle condizioni di misurazione, del grado di esperienza dell'utilizzatore o di altre esigenze come tempo, costi, ingombri, requisiti di accuratezza, portabilità ecc. Ad esempio, le tradizionali CMM sono piuttosto diffuse perché consentono di effettuare

misurazioni ripetute su oggetti di forme anche complesse, con una elevata accuratezza (dell'ordine di qualche mm) [ISO 5725 - 1986]. D'altra parte, sono piuttosto ingombranti e raramente si prestano per la misura di oggetti di grandi dimensioni (ad esempio longheroni di veicoli ferroviari, ali di aereo, fusoliere ecc.), perché il volume di lavoro utile per effettuare le misurazioni è tipicamente limitato. Per misurare oggetti dalle dimensioni medio-grandi, apparati di misura portabili possono essere preferibili a quelli fissi. Infatti, spesso è più pratico trasferire il sistema di misurazione nel luogo dove si trova l'oggetto da misurare, che il contrario [Bosch - 1995]. In tali situazioni è possibile utilizzare diverse tipologie di sistemi, come teodoliti/tacheometri, apparati per la fotogrammetria, laser tracker, sistemi GPS. Tali sistemi, a differenza delle CMM, non richiedono ingenti spese d'installazione e si prestano ad essere spostati a seconda dell'esigenza. Tuttavia anch'essi presentano delle "controindicazioni", come sarà discusso brevemente nella sezione seguente.

Prima di presentare direttamente il sistema MScMS, si procede ad una descrizione strutturata dei requisiti e delle funzionalità che esso dovrebbe soddisfare. Parallelamente, si individuano in una tassonomia i punti di forza ed i punti deboli delle più comuni tecniche/apparecchiature metrologiche utilizzate per effettuare misure dimensionali su oggetti di grandi dimensioni. L'attenzione sarà dunque posta sui seguenti aspetti del sistema MScMS: architettura hardware e software; descrizione del prototipo realizzato; modalità di

F. Franceschini, M. Galetto, D. Maisano, L. Mastrogiacomo - Dipartimento di Sistemi di Produzione ed Economia dell'Azienda, Politecnico di Torino, Torino, Italia

funzionamento; prove esplorative e primi risultati sperimentali; criticità del sistema e aree di miglioramento.

Il documento conclude descrivendo le prospettive e gli sviluppi per la ricerca futura.

Requisiti del sistema e confronto con le altre tecniche di misura

MScMS nasce principalmente dall'esigenza di effettuare misure dimensionali su oggetti di dimensioni elevate – ossia con ingombri fino a 20-30 metri – con uno strumento relativamente “leggero”, facile da spostare, non troppo costoso, utilizzabile in ambienti chiusi (capannoni, officine, laboratori). I requisiti alla base della progettazione di MScMS sono meglio indicati nella tabella 1.

Requisito	Descrizione
Portabilità	Facile trasportabilità, ingombri non elevati, operazioni di montaggio/smontaggio non troppo complesse.
Rapidità Installazione e Start-Up	Prima di essere operativi nell'ambiente di lavoro, gli apparati devono richiedere operazioni di installazione e di start-up/aratura non troppo onerose in termini di tempo e manodopera.
Costo Contenuto	Il sistema deve avere bassi costi di realizzazione, installazione e manutenzione.
Prestazioni Metrologiche	Lo strumento deve garantire performance metrologiche appropriate, tipicamente in termini di stabilità, ripetibilità, riproducibilità, accuratezza [ISO 5725 – 1985].
Volume di Lavoro	Il volume di lavoro “coperto” dallo strumento deve rendere possibile la misura di oggetti di grandi dimensioni (ingombri fino a 20-30 metri).
Utilizzo Indoor	Il sistema deve funzionare anche in ambienti chiusi, come capannoni, officine, laboratori ecc.
Flessibilità Operativa	Il sistema deve rendere possibili diverse tipologie di misurazioni, quali rilievo di punti, distanze, curve e superfici sugli oggetti misurati.

Tabella 1 - Definizione e descrizione dei requisiti del sistema di misura

Alla luce dei requisiti elencati, si è sviluppata una breve analisi comparata tra le più diffuse apparecchiature di misura. Nella tabella 2 si raccolgono i risultati dell'analisi qualitativa condotta con l'obiettivo di mettere a confronto 5 strumenti di misura: teodoliti, CMM, laser tracker, apparati per la fotogrammetria e sistemi GPS. L'ultima riga della tabella fornisce un'indicazione del livello di performance che il sistema MscMS si propone di raggiungere.

STRUMENTO DI MISURA	REQUISITI						
	Portabilità	Installazione e Start-Up	Costo	Prestazioni Metrologiche	Volume di Lavoro	Utilizzo Indoor	Flessibilità Operativa
TEODOLITE/TACHEOMETRO	ALTA	VELOCE	BASSO	BASSA	ELEVATO	SÌ	BASSA
CMM	BASSA	LENTA	ALTO	ALTA	RIDOTTO	SÌ	ALTA
LASER TRACKER	MEDIA	MEDIA	MEDIO	MEDIA	ELEVATO	SÌ	MEDIA
FOTOGRAMMETRIA	MEDIA	LENTA	MEDIO	MEDIA	MEDIO	SÌ	MEDIA
GPS	ALTA	VELOCE	MEDIO	BASSA	ELEVATO	NO	BASSA
MScMS (obiettivo di realizzabilità)	ALTA	MEDIA	BASSO	MEDIA	ELEVATO	SÌ	ALTA

Tabella 2 - Diversi strumenti di misurazione a confronto: valutazione qualitativa delle performance

Dall'analisi della tabella 2 emergono alcune interessanti considerazioni. Strumenti estremamente accurati come le CMM risultano ingombranti, costosi e difficili da trasportare. D'altra parte, apparecchiature più semplici e leggere, come i teodoliti o GPS, non sono molto flessibili per ciò che riguarda le tipologie di misurazioni offerte. Inoltre i sistemi GPS hanno accuratezze sensibilmente inferiori agli altri e non possono funzionare in ambienti chiusi. I laser tracker interferometrici o gli apparati per la fotogrammetria digitale

possono essere estremamente accurati, ma altrettanto complessi e costosi.

In definitiva, non esiste uno strumento in grado di soddisfare pienamente tutti i requisiti espressi precedentemente. Il sistema MScMS è stato concepito per conciliare tali esigenze, in particolare la portabilità, il costo ridotto e la capacità di effettuare misurazioni su oggetti di grandi dimensioni.

Struttura Hardware di MScMS

Il sistema MSCMS è costituito da tre parti fondamentali: una “costellazione” (o rete) di dispositivi wireless, distribuiti nell'area dove effettuare le misurazioni; un tastatore mobile, per il rilievo dei punti dell'oggetto da misurare; un PC in grado di ricevere dal tastatore mobile, tramite rice-trasmittitore Bluetooth, i rilievi relativi alle misurazioni effettuate.

Il tastatore-mobile è equipaggiato con due dispositivi wireless, identici a quelli che compongono la costellazione. Tali dispositivi, noti come *Cricket*, sono dotati di rice-trasmittitori ad ultrasuoni (US) capaci di stimare le distanze reciproche, sfruttando i cosiddetti “tempi di volo” del segnale US [MIT CSAIL, 2004]. Il sistema consente di ricavare la posizione – in termini di coordinate spaziali – dei punti toccati dal tastatore-mobile, posto a contatto dell'oggetto da misu-

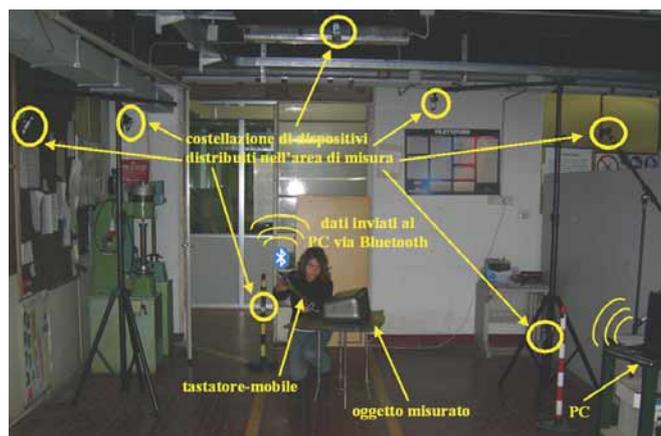


Figura 1 - Un esempio di applicazione del sistema MSCMS

rare. Alla pressione di un pulsante, o “grilletto” posizionato sul tastatore, le acquisizioni effettuate sono inviate ad un PC. I dati acquisiti dal PC sono disponibili per elaborazioni di vario tipo (calcolo di distanze, ricostruzione di curve o superfici dell'oggetto da misurare).

I dispositivi wireless della costellazione (cricket) sono dei veri e propri riferimenti per il tastatore. La localizzazione spaziale degli stessi, indispensabile per ricavare la posizione del tastatore-mobile, è eseguita in modo semi-automatico grazie ad una procedura guidata. Tale procedura (descritta nel seguito) permette di determinare la posizione dei cricket, dopo averli disposti con una certa libertà intorno all'oggetto da misurare.

Nei paragrafi seguenti, si descrive la componente hardware del sistema MScMS, illustrando nel dettaglio: i dispositivi

wireless utilizzati (cricket); la modalità di misura delle distanze tra i dispositivi stessi; il tastatore-mobile e la logica di localizzazione dei punti misurati.

Descrizione dei cricket

Il sistema di misura proposto utilizza dispositivi wireless (cricket) dotati di rice-trasmettitori in radiofrequenza (RF) e ad ultrasuoni (US). Le frequenze di lavoro sono rispettivamente di 433 MHz per la RF e di 40 kHz per gli US.

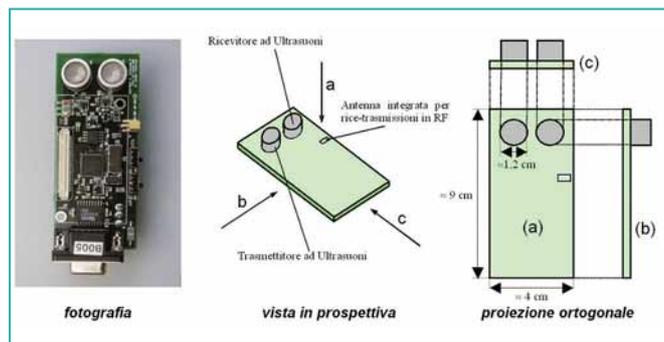


Figura 2 - Dispositivo cricket (Crossbow Technology)

I cricket sono facilmente trasportabili grazie alle dimensioni ridotte ed hanno un costo contenuto (ogni unità, se prodotta in serie, potrebbe costare qualche decina di euro). Questa peculiarità li rende ideali per l'utilizzo in reti wireless ad-hoc [Priyantha et alii, 2000].

Ogni dispositivo è in grado di stimare la distanza che lo separa da un altro dispositivo, purché posto entro il proprio range di propagazione del segnale US - tipicamente di 8-10 m in assenza di ostacoli frapposti. La tecnica implementata da ogni coppia di dispositivi per stimare le distanze reciproche è nota come Time Difference of Arrival (TDoA) e si basa sul confronto tra i tempi di propagazione di segnali di natura diversa - RF ed US nel caso di specie (cfr. figura 3).

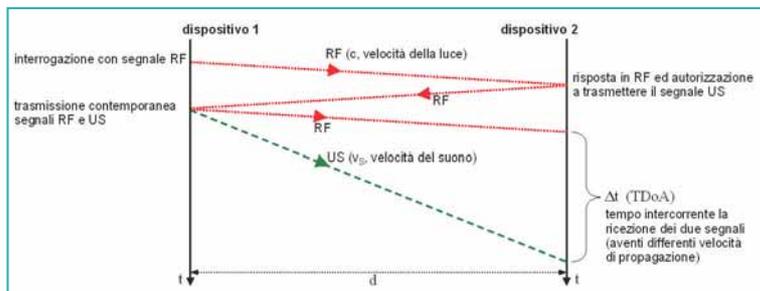


Figura 3 - Schema qualitativo della tecnica TDoA

Il dispositivo ricevente è in grado di determinare la distanza dal dispositivo sorgente come:

$$d = \frac{\Delta t}{\frac{1}{v_s} - \frac{1}{c}} \quad (4.1)$$

essendo c velocità delle radiazioni elettromagnetiche, v_s velocità del suono e Δt la differenza tra i tempi d'arrivo dei due segnali inviati.

Data la differenza d'ordine di grandezza della velocità della luce (circa 300.000 km/s) rispetto a quella del suono (circa 340 m/s per aria con $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ e $RH = 50\%$), il termine $1/c$ può considerarsi trascurabile rispetto a $1/v_s$ e quindi la distanza si può approssimare come:

$$d \approx v_s \cdot \Delta t \quad (4.2)$$

Comunicazione tra i dispositivi cricket

I dispositivi cricket costituiscono una vera e propria rete di sensori wireless (nodi intelligenti) in grado di cooperare tra loro [Patwari et alii, 2005]. Essi, oltre a stimare individualmente le distanze con i propri vicini, attuando la logica TDoA descritta, comunicano costantemente via RF, in modo da condividere i dati acquisiti.

Ogni dispositivo scambia ultrasuoni con i propri "vicini" ripetutamente nel tempo. In questo modo è in grado di stimare le distanze dagli stessi, con una certa continuità. Ciascun dispositivo memorizza le distanze calcolate dai propri vicini, e le trasmette periodicamente agli stessi.

I vicini memorizzano le nuove distanze ricevute in una propria "lista", che aggiornano e ritrasmettono continuamente, in base alle nuove rilevazioni effettuate. Il processo di rice-trasmissione delle distanze calcolate è realizzato tramite segnali in radio frequenza e, in breve tempo, porta tutti i dispositivi della rete a conoscere le distanze tra tutte le coppie di dispositivi della rete stessa.

Il tastatore-mobile

Su di un tastatore-mobile, sono montati 2 sensori in posizioni predefinite (A e B), a distanza nota l'uno dall'altro e dalla punta (V) (cfr figura 4 e figura 6).

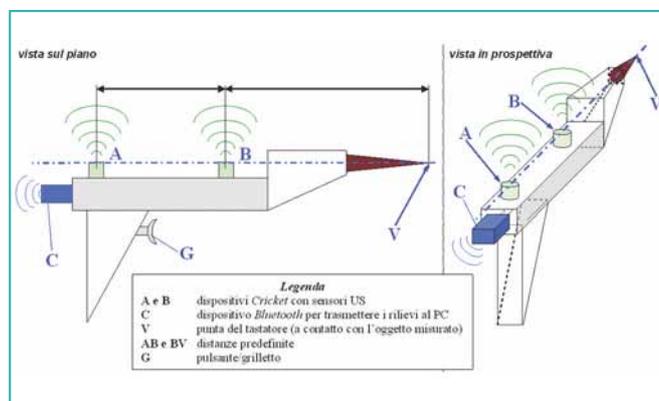


Figura 4 - Schema qualitativo del tastatore-mobile: i punti A, B e V sono allineati

I due sensori US sono in linea con la punta, in modo che, determinando la posizione degli stessi, la posizione della punta sia definita univocamente.

Il sistema è stato concepito per funzionare indifferentemente in ambienti di lavoro ridotti o estesi; è sufficiente variare a seconda dell'esigenza il numero di cricket della costellazione, in modo da coprire l'area di lavoro oggetto d'indagine.

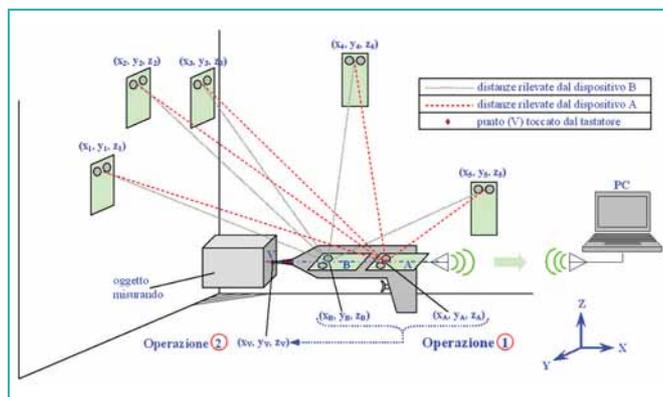


Figura 5 - Localizzazione dei punti toccati dal tastatore

Architettura Software di MScMS

Questa sezione illustra gli aspetti software/firmware implementati dal sistema MScMS, per rendere possibile le operazioni descritte nel seguito.

Localizzazione dei dispositivi montati sul tastatore: per effettuare la localizzazione spaziale di ciascuno dei due dispositivi montati sul tastatore si utilizza la tecnica della trilaterazione. Questa consente di determinare univocamente la posizione di un punto nello spazio, conoscendone le distanze da altri punti di riferimento (i cricket della costellazione). In generale, occorrono almeno quattro distanze da altrettanti punti di posizione nota. La trilaterazione è un metodo di determinazione della posizione di oggetti meno utilizzato della triangolazione, dove invece si utilizzano gli angoli sottesi dal punto incognito rispetto ai punti noti.

Calcolo delle coordinate della punta del tastatore: il punto V toccato dalla punta del tastatore, giace sulla stessa retta di appartenenza dei due dispositivi cricket - A e B - montati sul tastatore stesso (figura 3). Con alcuni passaggi algebrici è possibile ricavare le equazioni che forniscono univocamente le coordinate del punto V, qualsiasi sia la posizione e l'orientamento del tastatore-mobile, conoscendo la posizione dei due sensori A e B.

Comunicazione tra i dispositivi distribuiti: il firmware rende possibile la comunicazione - sia in radiofrequenza (RF) che via ultrasuoni (US) - tra i dispositivi della costellazione e quelli che equipaggiano il tastatore-mobile. Il firmware utilizza una logica modulare object-oriented e si "scompon" in moduli indipendenti, altamente specializzati, che interagiscono grazie ad interrogazioni reciproche event-based. Il firmware implementato consente ai dispositivi di comunicare in modo coordinato e continuo. In fase di misurazione, quando l'utente preme il pulsante a bordo del tastatore, le informazioni sono trasferite tramite Bluetooth ad un PC che le acquisisce ed elabora.

Localizzazione semi-automatica della costellazione: un aspetto di grande importanza per il sistema di misura complessivo, è rendere veloce e automatica la fase di localizzazione dei cricket che costituiscono la "costellazione".

L'operazione, se svolta in modo manuale, è tediosa e va contro i vantaggi di prontezza d'uso e adattabilità a nuovi ambienti di lavoro che il sistema intende offrire. Pertanto si è predisposto un metodo di localizzazione semi-automatica - per cui i cricket siano in grado di trasmettere le distanze reciproche al PC, che effettua la localizzazione, riducendo al minimo il coinvolgimento "umano". La tecnica di localizzazione implementata prevede l'utilizzo del tastatore-mobile per "toccare" alcuni punti su di un artefatto esterno opportunamente sagomato ed acquisire le distanze tra gli stessi ed almeno cinque cricket della costellazione. Tali informazioni, unite alla conoscenza delle distanze reciproche tra i cricket della costellazione, permettono di utilizzare un algoritmo di tipo "incrementale", per determinare la configurazione della rete [Moore et alii, 2004].

L'insieme delle operazioni di localizzazione della costellazione sono guidate da un applicativo software a corredo di MScMS. Il tempo richiesto per l'auto-localizzazione è di qualche secondo per ogni punto di riferimento. L'elaborazione dei dati acquisiti è automatizzata.

Come si intuisce, l'accuratezza nella localizzazione dei cricket ha pesanti effetti sull'accuratezza delle successive misurazioni effettuate con il tastatore-mobile. Quanto più la posizione dei cricket è affetta da incertezza, tanto più le misure risulteranno poco accurate [Franceschini, Galetto, Maisano, Mastrogiacomo - 2006].

Il prototipo realizzato

Nel laboratorio di qualità e metrologia industriale del Dispea - Politecnico di Torino, si è costruito un primo prototipo del sistema MScMS, costituito dai seguenti elementi:

Costellazione di cricket. Una trentina di dispositivi cricket sono stati posizionati liberamente all'interno dell'ambiente di misura, in modo da coprire un volume di circa 180 m³. Per facilitare il posizionamento degli stessi si sono utilizzati dei sostegni - tipicamente aste, treppiedi o bracci snodati - che consentono di spostare i dispositivi e variarne l'orientazione a seconda dell'esigenza (cfr figura 1).

Tastatore mobile. È costituito da un'ossatura in alluminio a cui sono fissati rigidamente seguenti elementi:

- due dispositivi cricket;
- punta con cui "toccare" i punti da rilevare dell'oggetto misurando. La punta (V) ed i due dispositivi cricket (A e B) sono posizionati "in linea", alle distanze note $d(A-B)=44,7$ cm e $d(A-V)=53,6$ cm (figura 6).

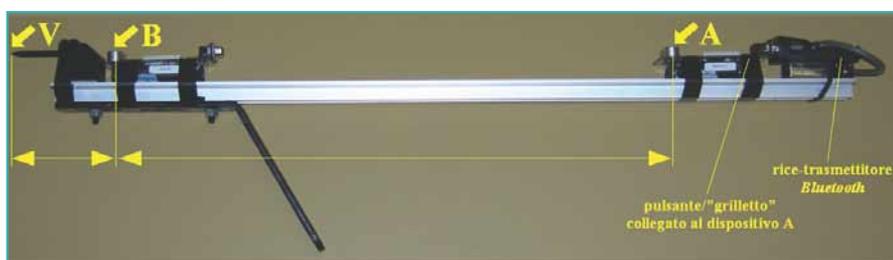


Figura 6 - Prototipo di tastatore-mobile

- Rice-trasmittitore Bluetooth collegato direttamente ad uno dei due dispositivi cricket, tramite porta seriale RS232.
- Pulsante collegato ad uno dei cricket, per regolare il flusso di informazioni da inviare al PC.

Personal Computer. Un applicativo SW creato ad hoc, installato su un PC convenzionale, guida l'utente nelle misurazioni. Il PC è equipaggiato di interfaccia Bluetooth per la ricezione dei dati trasmessi dal tastatore.

Software Applicativo. Obiettivo dell'applicativo, sviluppato in ambiente Matlab, è rendere semplici ed efficienti le attività di controllo dimensionale e la presentazione dei risultati di misura.

Le funzioni implementate sono quelle tipicamente offerte dai software di misura in dotazione con le CMM.

Il software è suddiviso in moduli che guidano l'utente nelle seguenti operazioni:

- Inizializzazione. Guida l'utente nella procedura di accensione dei dispositivi (cricket e adattatore Bluetooth) e nell'apertura della connessione col PC, per realizzare le acquisizioni (figura 7a).

- Localizzazione semi-automatica della Costellazione. Implementa la procedura di localizzazione semi-automatica descritta, in modo da localizzare i cricket della costellazione (figura 7b).

- Misurazione. È possibile effettuare differenti tipologie di rilievi sugli oggetti misurati. Ad esempio il calcolo delle coordinate di punti singoli, la misura di distanze, la determinazione di curve e superfici - circonferenze, piani, superfici cilindriche, sferiche ecc. (figura 7c, figura 8).

In fase di acquisizione delle misure, l'applicativo riceve gli input generati dalla pressione del pulsante sul tastatore e guida l'operatore emettendo un suono di assenso - se i punti vengono rilevati correttamente - o dei suoni di errore - se il tastatore non si trova nelle condizioni ottimali per acquisire la misura.

Grazie ad un'interfaccia grafica, sono visualizzate le coordinate dei punti toccati dal tastatore (figura 8).

Nella figura 7 si mostrano le videate del menu principale e di alcuni sotto-menu dell'applicativo.

Nella figura 8 si riportano alcune videate dell'applicativo riferite ad alcune tipologie di misurazioni offerte dal software.

Criticità e aree di miglioramento

Le prove preliminari, svolte sul prototipo realizzato, hanno permesso di verificare la fattibilità del sistema MScMS. Si sono potuti valutare i vantaggi che esso offre, in termini di portabilità, semplicità d'uso, basso costo, ma anche i punti deboli.

D'altra parte, per l'intero sistema di misura, le maggiori criticità sono imputabili ai sensori ad ultrasuoni utilizzati:

- i rice-trasmittitori ad ultrasuoni hanno dimensioni finite e

non puntiformi;

- le distanze misurate tra ogni coppia di dispositivi non sono univoche;
- i segnali US sono soggetti a disturbi di vario genere;
- vi è dipendenza tra velocità di propagazione del suono e le condizioni dell'ambiente di lavoro.

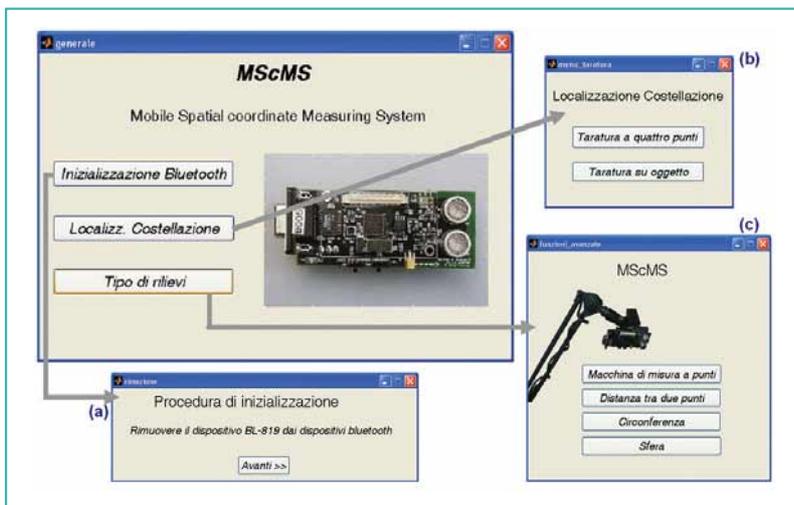


Figura 7 - Menu dell'applicativo software di MScMS

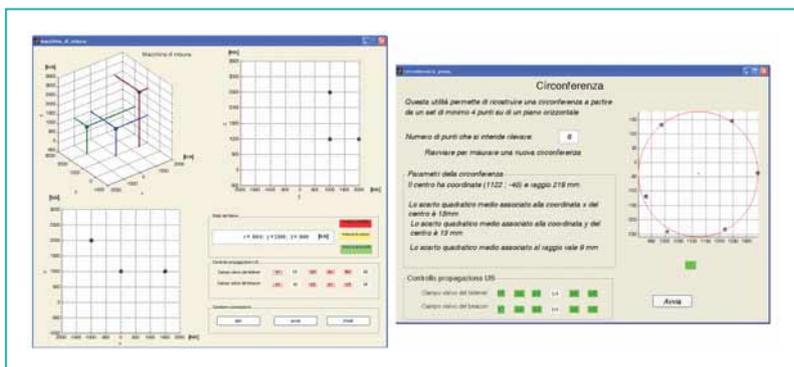


Figura 8 - Pagine video dell'applicativo: acquisizione di singoli punti toccati dal tastatore e misura di circonferenze nel piano

Conclusione

Il sistema presentato - MScMS - è uno strumento per certi versi complementare alle CMM, perché facilmente movimentabile, non molto costoso e che si presta alla misura di oggetti di dimensioni elevate (non realizzabile sulle CMM convenzionali).

Il sistema MScMS è costituito da tre parti: una "costellazione" di dispositivi wireless dotati di sensori ad ultrasuoni, da distribuire con una certa libertà attorno all'area in cui effettuare le misurazioni; un tastatore-mobile, con cui si "toccano" i punti dell'oggetto misurando; un PC in grado di ricevere via Bluetooth le informazioni trasmesse dal tastatore in fase di misurazione, e di elaborarle grazie ad un software di interfaccia-utente creato ad hoc.

MScMS è leggero, adattabile a diversi ambienti d'uso e non richiede particolari arrangiamenti in fase d'installazione: semplicemente di posizionare i sensori della rete ed effettuare una breve taratura degli stessi, della durata di pochi minuti.

A corredo del sistema, è stato messo a punto un applicativo software, sviluppato in ambiente Matlab, per guidare l'utente nell'acquisizione dei punti misurati.

Oggi, il tallone d'Achille del MScMS è la scarsa accuratezza dovuta soprattutto all'impiego dei sensori ad ultrasuoni: dimensioni non puntiformi, sensibilità della velocità del suono alla temperatura ecc.

Guardando al futuro, si intende individuare con maggiore attenzione tutti i fattori che sono in grado di influenzare il livello di accuratezza del sistema ed intervenire cercando di eliminarli o di ridurne gli effetti mediante tecniche di compensazione.

Riferimenti

[1] J.A. Bosch, *Coordinate Measuring Machines and Systems*, Edited by Marcel Dekker, Inc. ISBN 0-8247-9581-4, 1995.

[2] M. Chen, F. Cheng, R. Gudavalli, *Precision and Accuracy in an Indoor Localization System*. Technical Report CS294-1/2, University of California, Berkeley, USA, 2003.

[3] F. Franceschini, F. Galetto, M., Maisano, D., Mastrogiacomo L., "A Review of Localization Algorithms for Distributed Wireless Sensor Networks in Manufacturing". To be published in *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2006.

[4] F. Franceschini, M. Galetto, L. Settineri, "On-Line Diagnostic Tools for CMM Performance", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 19, No. 2, pp. 125-130, 2002.

[5] ISO 5725, *Precision of test methods - Determination of repeatability and reproducibility for a standard test method by inter-laboratory tests*, 1986.

[6] MIT Computer Science and Artificial Intelligence Lab, *cricket v2 User Manual*, 2004 <http://cricket.csail.mit.edu/v2man.html>.

[7] D. Moore, J. Leonard, D. Rus, S.S. Teller, "Robust distributed network localization with noisy range measurements", *Proceedings of SenSys 2004*, Baltimore, MD, pp. 50-61, 2004.

[8] N. Patwari, J. Ash, S. Kyperountas, A. Hero III, R. Moses, N. Correal, (2005) "Locating the Nodes - Cooperative localization in wireless sensor networks", *IEEE Signal processing Magazine*, Vol. 22, No. 4, pp. 54-69, 2005.

[9] N:B. Priyantha, A. Chakraborty, H. Balakrishnan, "The Cricket Location-Support system", *Proceedings of the 6th ACM Mobicom*, Boston, MA, 2000.

LeCroy

OSCILLOSCOPI WAVEJET E WAVESURFER

Elevato Valore – Prestazioni di Alto Livello

ORA DISPONIBILE ANCHE FINO AD

1GHz



A PARTIRE DA
EUR 4.690

WAVESURFER XS

Gli oscilloscopi Windows-based dal costo più basso!

- Bande nel range 200 MHz – 1 GHz
- Opzione I2C, SPI e Segnali Misti
- Campionamento fino a 5 GS/s
- 3 anni di garanzia & 7 anni di supporto tecnico
- Memoria fino a 10 Mpts
- Ricerca & Analisi WaveScan



A PARTIRE DA
EUR 2.190

WAVEJET

L'oscilloscopio di semplice utilizzo ed elevata affidabilità a tua disposizione!

- Bande nel range 100 – 500 MHz
- Connettività USB, GPIB e LAN
- Campionamento fino a 2 GS/s
- 3 anni di garanzia & 7 anni di supporto tecnico
- 500 kpts/ch di memoria standard
- Display LCD da 7,5"

Distributori WaveJet e WaveSurfer:

 E.M.A. <small>www.ema.it</small> Emilia Romagna, Marche, Toscana	 Vematron <small>www.vematron.it</small> Lombardia, Triveneto
 Teknotest <small>www.teknotest.biz</small> Piemonte, Liguria, Val D'Aosta	 LeCroy <small>www.lecroy.it</small> Altre regioni
 Technel <small>www.technel.it</small> Campania, Basilicata, Calabria, Abruzzo, Puglia	readerservice.it n.17137