

ARCHEOMATICA



LA STAMPA 3D AL SERVIZIO DEL PATRIMONIO CULTURALE

APR PER LA DOCUMENTAZIONE ARCHEOLOGICA

MAGNA CARTA REDISCOVERED

TECNOLOGIA BEACON E PATRIMONIO CULTURALE

IL VISUAL COMPUTING LAB

VISUAL COMPUTING LAB 30 ANNI DI GRAFICA 3D IN ITALIA

di Roberto Scopigno e Claudio Montani

In questo numero di *Archeomatica*, Luca Papi (CNR) presenta la prima serie tematica dedicata alla presentazione di cinque Laboratori del Consiglio Nazionale delle Ricerche, il grande Ente Pubblico di Ricerca in Italia. Per ciascun laboratorio i direttori saranno chiamati a descrivere le competenze, le attività di ricerca, i progetti, le collaborazioni nazionali e internazionali della struttura di cui sono responsabili. Questa serie di articoli si apre con la presentazione del Visual Computing Lab dell'Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "A. Faedo" (ISTI) di Pisa afferente al Dipartimento di Ingegneria, ICT e Tecnologie per l'Energia e i Trasporti (DIITET) del CNR.



Fig. 1 - Alcuni risultati da campagne e progetti di digitalizzazione 3D: gestione e semplificazione dei dati prodotti dal progetto Digital Michelangelo; il viso della Madonna di Pietranico; la Madonna con il bambino di Andrea Pisano del Museo dell'Opera Primaziale Pisana; testa di Tutankhamen (Museo nazionale, Cairo, Egitto; lavoro in collaborazione con ISCR, Roma); una porzione dell'insula di Pompei acquisita nel contest del Swedish Pompei Project.

Le attività nel settore della computer graphics tridimensionale iniziarono all'istituto IEI del CNR alla fine degli anni '70 con lo sviluppo dei primi algoritmi per la generazione di mappe tematiche territoriali. I primi anni ottanta videro il consolidarsi della disciplina Computer Graphics ed il suo passare da pura tecnologia di servizio ad una caratterizzazione scientifica autonoma. In tale contesto di sviluppo, in cui il motore era sicuramente statunitense, il CNR si distinse con i primi nuclei di laboratori attivi sul tema in Italia, nuclei inizialmente insediatisi a Genova e Pisa. Il CNR assunse quindi un ruolo nettamente pionieristico a livello nazionale, in un contesto in cui la disciplina stentava ad essere riconosciuta a livello universitario. Nella seconda metà degli anni '80, evento anticipatore della fusione che sarebbe avvenuta tra gli istituti pisani del CNR IEI e CNUCE solo molti anni dopo, si formò il gruppo di ricerca *Visual Computing Lab* che riuniva la componente computer graphics di IEI e quella dell'Istituto CNUCE. Il Visual Computing Lab trovò un terreno molto fertile di lavoro in un settore, le metodologie e tecnologie per la visualizzazione scientifica, che visse una vera e propria stagione d'oro verso la fine degli anni '80.

Erano gli anni in cui si diffondevano, sia nel settore medicale che scientifico, strumenti di indagine che producevano risultati in forma di immagini (2D e 3D, questi ultimi detti dati volumetrici) ed iniziava ad emergere con forza il settore della simulazione 3D al computer, i cui risultati richiedevano nuovi strumenti di integrazione e di analisi dei risultati.

In tale fertile contesto, il Visual Computing Lab si guadagnò una buona visibilità internazionale mediante lo sviluppo di nuove metodologie di rappresentazione di dati volumetrici (ad esempio TAC o RMN medicali) e di nuovi algoritmi per la loro visualizzazione efficiente e flessibile.

Essendo la computer graphics una disciplina nuova e priva di una scuola consolidata a livello nazionale, la fase di creazione di un gruppo che aspirava a divenire un punto di riferimento nazionale ed internazionale fu una azione complessa e rischiosa. I primi anni del laboratorio furono caratterizzati da una notevole difficoltà di reperimento di finanziamenti. Tale problematica era aggravata dal fatto che la computer graphics in quegli anni era una disciplina costosa, in quanto le strumentazioni di calcolo avevano prezzi proibitivi; questa difficoltà diede tuttavia grossi stimoli, anche di tipo scientifico, orientando la ricerca a percorrere strade che andassero verso una ottimizzazione delle risorse da dedicare al processing grafico ed alla ricerca di soluzioni innovative caratterizzate da bassa complessità computazionale e basso costo.

A metà degli anni '90 una serie di lavori scientifici relativi alle tematiche della semplificazione geometrica e delle tecniche multi-risoluzione assicurarono al laboratorio Visual Computing ottima visibilità internazionale; tali soluzioni furono di fatto figlie di un trend orientato alla riduzione della complessità ed al rendere possibili prestazioni interattive su dataset anche di grande dimensione, appoggiandosi nello stesso tempo a piattaforme economiche di calcolo.

Il laboratorio Visual Computing, dovendo far di necessità virtù, fu tra i primi a livello internazionale a passare dalle workstation grafiche UNIX alla piattaforma PC Windows. Fu quindi tra i pionieri di un trend che doveva dimostrarsi vincente grazie all'impressionante aumento di potenza di calcolo delle GPU per piattaforma PC cui si è assistito nel corso dell'ultimo decennio, accompagnato da una altrettanto significativa riduzione dei costi. E' ovvio l'impatto che ciò ha avuto sulla democratizzazione delle tecnologie e sull'impiego del medium tridimensionale nelle applicazioni. E' importante sottolineare come una scommessa vinta dal gruppo sia stata anche quella di privilegiare l'acquisizione di risorse umane piuttosto che di strumentazione tecnologica: da sempre l'aggiornamento tecnologico - prima workstation 3D e successivamente sistemi di scansione 3D e 3D printers - ha avuto priorità più bassa della possibilità di offrire borse o contratti a termine ai tanti giovani che hanno partecipato con entusiasmo e dedizione alle attività di ricerca del laboratorio. La collaborazione con tanti di questi eccellenti giovani è stato il motore che ha portato ai risultati scientifici ed alla visibilità odierna del laboratorio. Tornando ai risultati scientifici, le attività del laboratorio sono state caratterizzate da una progressiva evoluzione delle tematiche di ricerca, che ha seguito sia i trend internazionali che gli specifici interessi personali dei ricercatori del lab. Dopo un primo periodo orientato alla visualizzazione scientifica e un secondo alla gestione della complessità dei dati, gli ultimi venti anni hanno visto una progressiva focalizzazione sulle tecniche di digitalizzazione 3D (o 3D scanning). In tale contesto il laboratorio ha sviluppato soluzioni algoritmiche innovative per la gestione ed elaborazione dei dati prodotti dai sistemi di scansione 3D, includendo in ciò tutte le fasi algoritmiche del processo di elaborazione geometrica, ma anche la gestione del processo di campio-

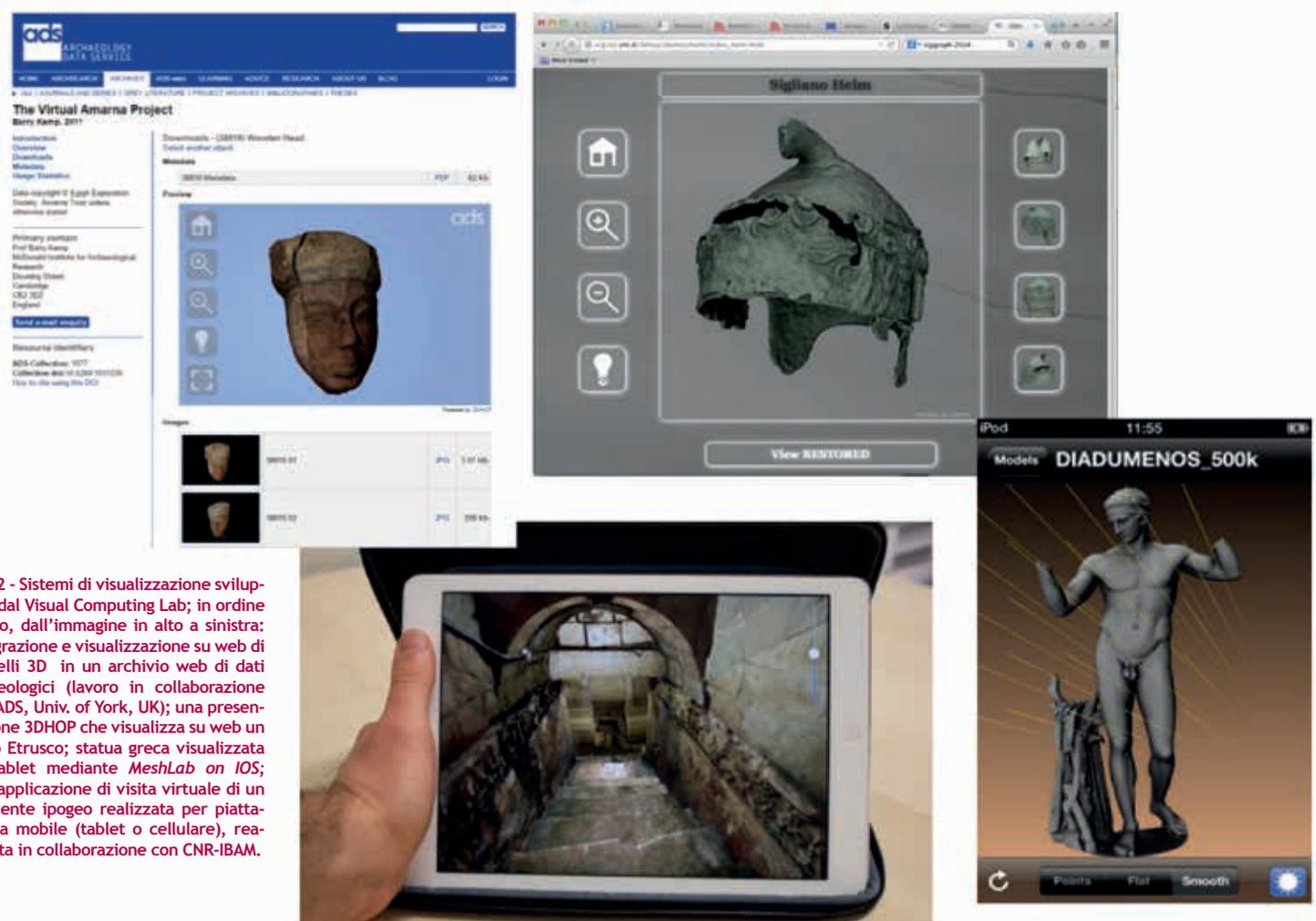


Fig. 2 - Sistemi di visualizzazione sviluppati dal Visual Computing Lab; in ordine orario, dall'immagine in alto a sinistra: integrazione e visualizzazione su web di modelli 3D in un archivio web di dati archeologici (lavoro in collaborazione con ADS, Univ. of York, UK); una presentazione 3DHOP che visualizza su web un elmo Etrusco; statua greca visualizzata su tablet mediante MeshLab on IOS; una applicazione di visita virtuale di un ambiente ipogeo realizzata per piattaforma mobile (tablet o cellulare), realizzata in collaborazione con CNR-IBAM.

namento delle caratteristiche di riflessione delle superfici (in parole povere, il colore degli oggetti scannerizzati) e le tecniche necessarie a garantire una buona mappatura del colore o decoro pittorico sui modelli digitali 3D prodotti. Già dalla fine degli anni '90 il settore delle applicazioni ai Beni Culturali fu quello prescelto come settore prioritario di intervento e test delle tecnologie sviluppate. Nonostante le tecnologie 3D abbiano una ampia orizzontalità di potenziale applicazione, le applicazioni al patrimonio culturale racchiudono al loro interno una molteplicità di requisiti e una complessità tale da rendere questo contesto ideale ad attività di sperimentazione tecnologica, validazione e disseminazione.

Inoltre è sempre più evidente come il settore dei Beni Culturali stia mutuando metodologie e pratiche dallo spazio della scienza e della tecnologia. L'evoluzione è trainata dalle rivoluzioni del *remote sensing* in archeologia, delle tecniche non invasive nel restauro e nella archeologia, delle tecnologie di scansione 3D, delle tecnologie di documentazione integrata multimediale per lo studio e la caratterizzazione dell'opera d'arte, delle tecnologie di presentazione virtuale sia nei musei che su web. Questi apporti stanno cambiando radicalmente le modalità di studio, di analisi e di presentazione al pubblico. Il Laboratorio Visual Computing sta contribuendo in modo sostanziale a questo contesto di forte evoluzione, sviluppando tecnologie innovative, mettendole a disposizione del pubblico e degli operatori - il sistema *MeshLab*, distribuito in open source, totalizza centinaia di migliaia di utenti nel mondo - ed infine collaborando con gli operatori del settore Beni Culturali in specifici progetti di ricerca e di applicazione, come ad esempio nel settore del restauro assistito al computer. In tale contesto da anni l'obiettivo del laboratorio è di consolidare il settore della grafica 3D non come mero produttore di *belle immagini*, da

usare come riempitivo allettante per documenti o monografie, bensì come fornitore di *strumenti digitali* che possano espandere le possibilità di analisi dell'operatore - storico dell'arte, archeologo, restauratore, curatore - e generare suo tramite nuova conoscenza.

Rispetto ai due ricercatori dei primi anni '80, oggi il Visual Computing Lab conta oltre 20 ricercatori e numerose linee di ricerca riconducibili a tre temi principali:

- ▶ *Interactive Graphics*: metodologie per il rendering interattivo e fotorealistico, modelli e metodi per grafica 3D su web e su piattaforme mobile;
- ▶ *3D graphics for Cultural Heritage*: metodologie di scansione 3D, applicazioni ai Beni Culturali e di ausilio al restauro ed alla conoscenza;
- ▶ *Geometric Processing*: metodologie di gestione evoluta di modelli geometrici, shape-based reasoning, shape characterization.

ATTIVITÀ DI RICERCA CORRENTE

Questa sezione ha l'obiettivo di menzionare in modo succinto alcuni temi di ricerca attivi su cui sono stati prodotti recentemente importanti risultati.

Digitalizzazione 3D

Le tecnologie di acquisizione 3D e di campionamento / mapping del colore o della riflettanza sono oramai abbastanza consolidate. Il laboratorio ha lavorato recentemente su tecniche che permettono di processare e comparare in modo semplice e automatico i risultati di azioni di digitalizzazione che si ripetono nel tempo, a fini di monitoraggio o controllo di contesti critici (ad esempio applicazioni legate alla sicurezza). In tale contesto i kernel messi a punto permettono di individuare quelle componenti della scena che hanno cambiato

Fig. 3 - Esempi di uso di modelli 3D nello studio o restauro di opere d'arte: restauro virtuale di un elmo etrusco; caratterizzazione della deposizione di contaminanti sulla superficie del David; restauro della Madonna di Pietranico, una terracotta rinascimentale ridotta in frammenti nel sisma dell'Aquila.



Fig. 4 - Esperienze di 3D printing e tecnologie relative; dall'immagine in basso a destra: esempio illustrativo di un gargoyle, del modello digitale 3D e della sua riproduzione ottenuta mediante stampa 3D in materiale plastico; una riproduzione in marmo di una porzione del fregio dell'Ara Pacis (Roma) realizzata mediante fresatura computerizzata; modello di una mano, realizzata con la nostra tecnica di riproduzione per mezzo di strisce assemblabili; infine, il processo di montaggio dei pezzi prodotti dalla nostra tecnica che permette di superare le limitazioni del campo di lavoro delle comuni stampanti 3D (decomposizione del modello in porzioni successivamente montabili ad incastro).



posizione nel tempo, o le porzioni di scena che non sono state acquisiti nelle azioni precedenti (ai fini di completare la digitalizzazione) o infine quelle porzioni che sono sparite nelle seguenti digitalizzazioni. Riguardo alle tecniche di base di digitalizzazione, un settore di interesse sono le tecnologie di ricostruzione 3D da fotografie e l'uso di droni. CNR-ISTI ha costituito un gruppo di lavoro inter-laboratori sul tema della progettazione ed uso di droni. Una recente applicazione di queste ultime metodologie è stata realizzata a Pompei, per il rilievo combinato via laser scanner e drone/fotogrammetria di un'intera insula (nel contesto dello Swedish Pompei Project).

Ma il mondo non è solo 3D: siamo attivi anche sul tema della digitalizzazione 2D mediante immagini panoramiche e immagini re-illuminabili (Reflection Transformation Images, RTI, o Polynomial Texture Maps).

Visualizzazione interattiva

La presentazione dei dati 3D deve oggi poter essere gestita sia su piattaforma web che su sistemi mobili. Il primo problema ha portato alla progettazione e sviluppo della piattaforma 3DHOP (<http://3dhop.net/>), che supporta l'integrazione all'interno di pagine internet di modelli 3D ad alta risoluzione. 3DHOP gestisce la complessità dei dati in ingresso mediante una struttura di rappresentazione ed un motore di rendering multirisoluzione; pertanto, è in grado di trasmettere in modo progressivo ed efficiente anche mo-

delli 3D di grandi dimensioni. 3DHOP fornisce una serie di template pronti all'uso per la presentazione di modelli CH, collegando la visualizzazione 3D con il resto della pagina Web e rendendo possibile la creazione di presentazioni integrate (3D ed altri contenuti multimediali). Il laboratorio ha anche sviluppato tecnologia per la visualizzazione di immagini RTI, sia in ambiente desktop che su web; un esempio di realizzazione sviluppata per un museo pisano è disponibile all'URL <http://vcg.isti.cnr.it/PalazzoBlu/>

Le esperienze in corso sugli strumenti di visualizzazione per piattaforma mobile (tablet o cellulari) includono sia strumenti di visualizzazione 3D classici (MeshLab su iOS), che sistemi per la navigazione virtuale assistita (<http://vcg.isti.cnr.it/virtualtour/>) che di Augmented Reality (<http://vcg.isti.cnr.it/LecceAR/>).

Stampa 3D

Un settore di forte interesse è quello delle tecnologie di stampa 3D. Le nostre prime esperienze di riproduzione materica diretta da modelli 3D risalgono a più di dieci anni fa. Più recentemente abbiamo utilizzato queste tecnologie in supporto al restauro, ad esempio nel lavoro riguardante il progetto di ricomposizione della Madonna di Pietranico (<https://www.youtube.com/watch?v=2dquqRwkpqk>). Metodologie innovative sono state proposte per la creazione di rappresentazioni di tipo ludico (riproduzione di modelli 3D mediante sezioni tagliate su materiali a basso costo, come

cartone o legno, da montare a cura dell'utente, come riportato nel paper Siggraph <http://vcg.isti.cnr.it/Publications/2014/CPMS14/>). La limitazione in spazio di riproduzione delle tecnologie 3D print è stata il punto di partenza per un lavoro riguardante la decomposizione in porzioni di oggetti a media o grande scala, da stampare ognuna per suo conto e facilmente rimontabili grazie agli incastri prodotti in modo automatico nelle porzioni stampate (<http://vcg.isti.cnr.it/Publications/2014/ACPPS14/>). Infine, stiamo studiando nuove metodiche per la produzione di oggetti deformabili (un contributo SIGGRAPH 2015 <http://vcg.isti.cnr.it/Publications/2015/PZMPCZ15/>) o per la produzione automatica di stampi da modelli digitali 3D, che permettano di usare le comuni tecnologie di riproduzione per tirature a larga scala.

PROGETTI E COLLABORAZIONI SCIENTIFICHE

Il laboratorio ha partecipato a più di 15 progetti europei; tra i progetti correnti, sul tema tecnologie ICT e BBCC sono in corso il progetto EC FET "HARVEST4D" ed i progetti infrastrutturali EC INFRA "ARIADNE" e EC "PARTENOS" (link ai siti web dei vari progetti sono pubblicati su <http://vcg.isti.cnr.it/projects.php>).

Il laboratorio ha molte collaborazioni attive con musei italiani e internazionali, con numerose soprintendenze, centri di restauro (ISCR, OPD), ed infine con storici dell'arte e archeologi.

PREMI

Il laboratorio ed alcuni suoi membri hanno ricevuto numerosi premi, dimostrazione della visibilità raggiunta e dell'impatto dei risultati scientifici (<http://vcg.isti.cnr.it/Publications/>).

Tra questi il "Best Digitization & Geometry Processing Team Award" assegnato da Digital Heritage 2013 International Congress & Autodesk Inc., ed i riconoscimenti conseguiti da Paolo Cignoni (Eurographics 2004 "Young Researcher Award"), Marco Tarini (Eurographics 2006 "Young Researcher Award") e Roberto Scopigno (Eurographics 2008 "Outstanding Career Award", Eurographics 2008 "Outstanding Technical Contributions Award", "Tartessos 2011 Award" assegnato dalla Spanish Society on Virtual Archeology).

ABSTRACT

The Visual Computing Lab of CNR-ISTI (an Institute of the Italian national Research Council) is active on several computer graphics topics, including 3D acquisition, sampled 3D data processing, geometry processing, efficient visualization, web- and mobile-based 3D data presentation, RTI images, 3D printing. The main application domains are nowadays the Cultural Heritage and Digital Humanities sectors. The Visual Computing Lab has a very solid international visibility, gained by means of an excellent scientific production and the work done by designing and maintaining open source resources. We are also serving the community by organizing scientific events, conferences, summer schools and contributing to the management of international journals. Awards have been assigned to several Visual Computing Lab members (P. Cignoni, R. Scopigno, M. Tarini). We have a solid experience with EC projects and collaborations with a number of CH institutions in Italy and abroad.

PAROLE CHIAVE

VISUAL COMPUTING LAB; 3D; INTERACTIVE GRAPHICS; CNR- ISTI

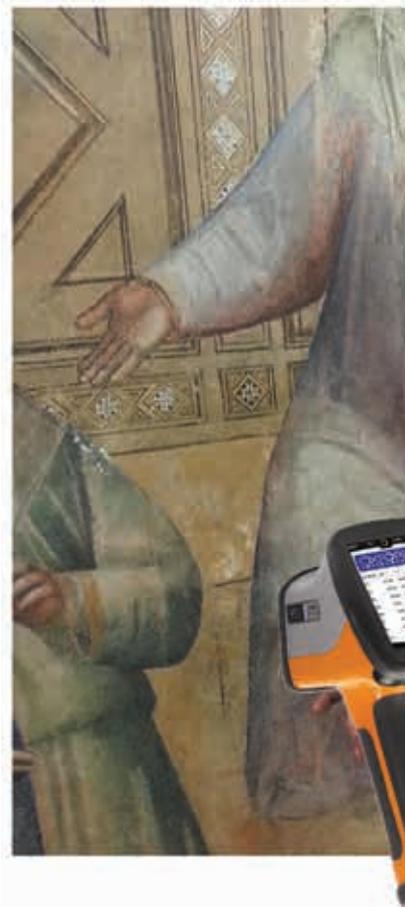
AUTORE

ROBERTO SCOPIGNO
R.SCOPIGNO@ISTI.CNR.IT
CLAUDIO MONTANI
CLAUDIO.MONTANI@ISTI.CNR.IT

CNR-ISTI, Pisa

Oxford X-MET8000

Il nuovo Spettrometro ED XRF portatile



Nuovo rivelatore RX
SDD large Area
Tubo RX 50 kV Tgt Rh, 4 W

Elaborazione Spettri su
monitor integrato o su PC
Collegamento via cavo
USB o WiFi
Fotocamera integrata

Operatività batterie
fino a 10 ore
Impermeabile antispruzzo
antipolvere

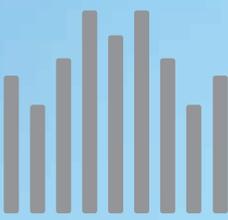
Pre-calibrato con
metodi Alloy e Minerals
Software di calibrazione
ed elaborazione spettri
integrato

TQ Technologies for Quality S.r.l

Via Marsilio da Padova, 2 R 16146 Genova (GE)

Tel: 010 4070991 - Fax: 010 42091199

e-mail: info@tqsrl.com web: www.tqsrl.com

2016 **ICOM**  **MILANO**

24^{ESIMA} CONFERENZA GENERALE • 3-9 LUGLIO 2016 • ITALIA

**MUSEI E PAESAGGI
CULTURALI**

3 - 9 LUGLIO 2016



INTERNATIONAL COUNCIL OF MUSEUMS
CONSEIL INTERNATIONAL DES MUSEES
CONSEJO INTERNACIONAL DE MUSEOS

www.milano2016.icom.museum