



INO-CNR
ISTITUTO
NAZIONALE DI
OTTICA

Olografia nell'infrarosso: prospettive per la lotta agli incendi

Pietro Ferraro

pietro.ferraro@ino.it

www.ino.it/home/ferraro/

Fisciano, 9 Aprile 2013



OLOGRAFIA QUALCHE CONCETTO DI BASE

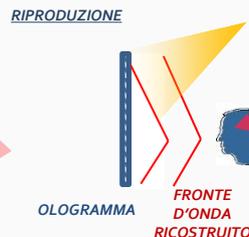
OLOGRAFIA

- RICOSTRUZIONE DEL FRONTE D'ONDA SCATTERATO DA UN OGGETTO
- EFFETTO 3D GRAZIE ALLA VISIONE BINOCULARE



DENNIS GABOR
PREMIO NOBEL 1971
PERL'INVENZIONE
DELL'OLOGRAFIA

APPLICAZIONI
DISPLAY 3D



RITRATTO 3D
DI AL ZAYED
SULTANO DEGLI
EMIRATI ARABI
UNITI

MODERNO
OLOGRAMMA

APPLICAZIONI
METROLOGICHE

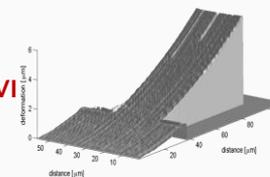
INTERFEROMETRIA OLOGRAFICA

- * MISURE INTERFEROMETRICHE SENZA CONTATTO – NON DISTRUTTIVE
- * DEFORMAZIONI MICROMETRICHE INDOTTE DA CARICHI TERMICI O MECCANICI
- * VIBROMETRIA, PROFILOMETRIA, CARATTERIZZAZIONE MATERIALI.....



1 METRO

* DA UN'ALA DI AEREO → → AI MICRODISPOSITIVI

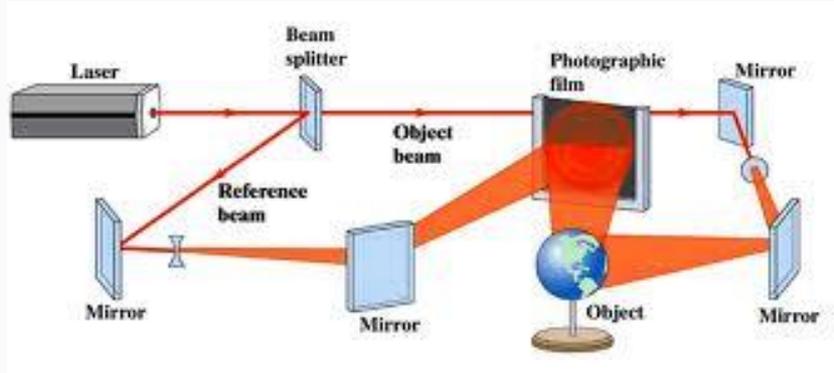


200 MICROMETRI



OLOGRAFIA QUALCHE CONCETTO DI BASE

Schema ottico per la registrazione di un ologramma

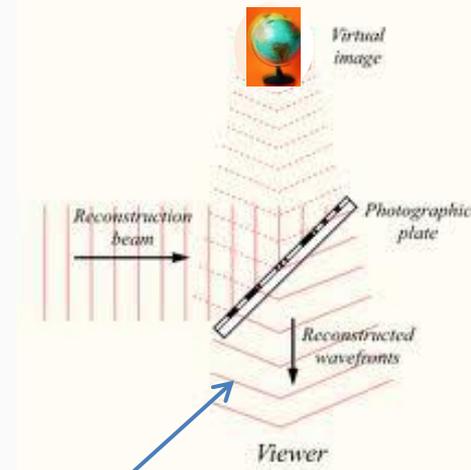


Un ologramma è la registrazione della figura di interferenza tra il fronte luminoso riflesso (o trasmesso) dall'oggetto e un fascio di luce di riferimento.

NON SI REGISTRA L'IMMAGINE DELL'OGGETTO
MA
IL FRONTE LUMINOSO

In olografia tradizionale si utilizza una speciale pellicola fotografica ad alta risoluzione

Schema ottico per la visualizzazione di un ologramma



IL FRONTE LUMINOSO RIFLESSO DALL'OGGETTO
SI RIPRODUCE

*illuminando l'ologramma
con un fascio di luce opportuno*

L'IMMAGINE DELL'OGGETTO
SI FORMA
SULLA RETINA DELL'OCCHIO
DELL'OSSERVATORE



OLOGRAFIA DIGITALE

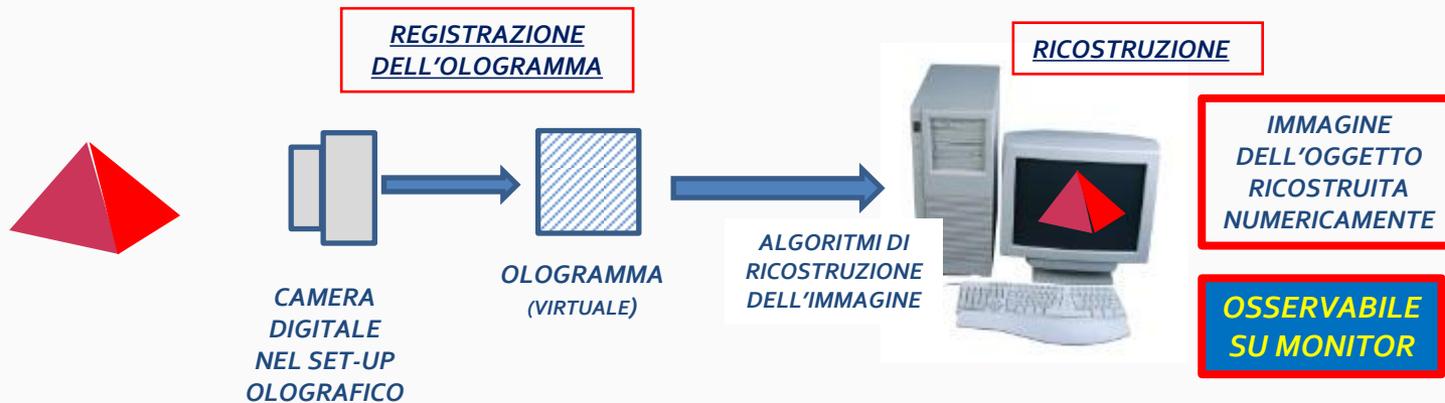
L' OLOGRAFIA «CLASSICA» RICHIEDE UN PROCESSO DI TIPO FOTOGRAFICO

- PELLICOLA O LASTRA FOTOSENSIBILE
- TRATTAMENTI CHIMICI

IN OLOGRAFIA DIGITALE
L' OLOGRAMMA E' REGISTRATO
PER MEZZO
DI UN SENSORE DI TIPO ELETTRONICO
CCD o CMOS



SCHEMA DI PRINCIPIO

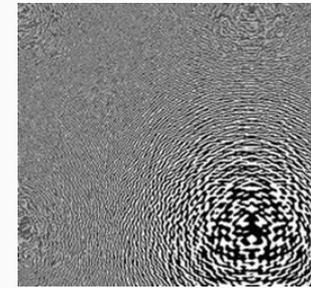
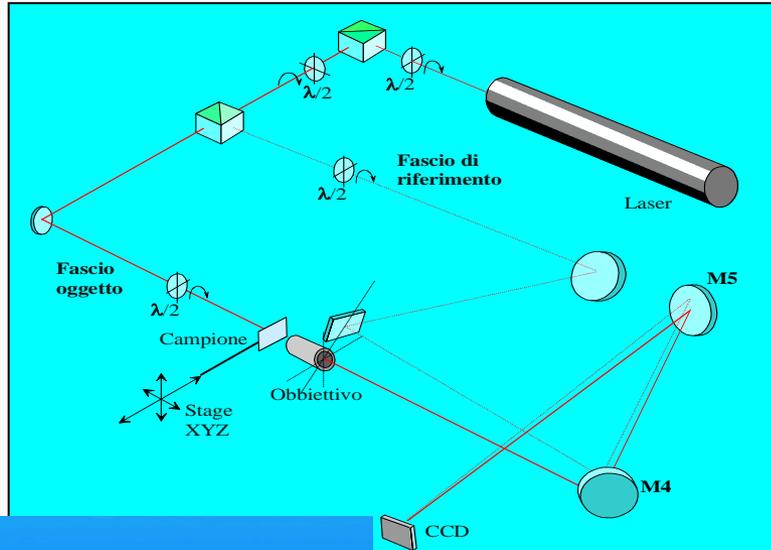


- ✓ Registrazione del campo complesso (ampiezza e fase del fronte d'onda)
- ✓ Ricostruzione numerica (non ottica)
- ✓ Possibilità di ricostruire a diverse distanze (messa a fuoco su vari piani)



OLOGRAFIA DIGITALE - METROLOGIA

NUMEROSE APPLICAZIONI METROLOGICHE MICROSCOPICHE



Tipico ologramma

L'OLOGRAMMA REGISTRA
SIA L'AMPIEZZA CHE LA FASE
DEL FRONTE D'ONDA LUMINOSO



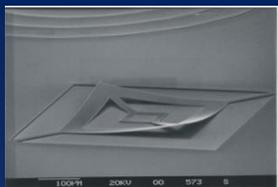
APPARATO COMPATTO PER
MICROSCOPIA OLOGRAFICA
(Dimensioni 50 x 50 cm)

NESSUN CONTATTO CON L'OGGETTO
RISOLUZIONE FINO A POCHI NANOMETRI

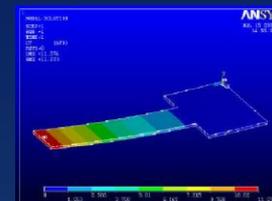
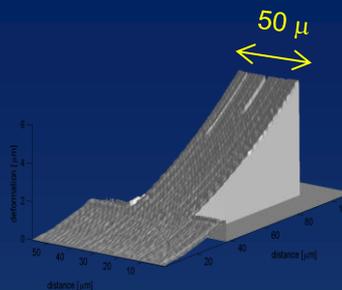
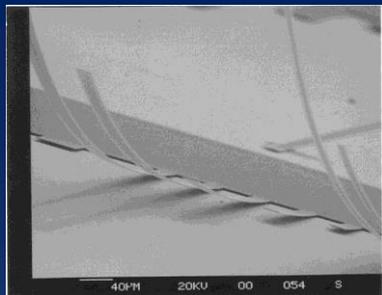
- Profilometria in riflessione di oggetti microscopici
(MEMS – Microlenti - Microcomponenti)
- Misura parametri ottici su oggetti trasparenti
(Componenti ottici - Cellule *in vitro* - Campioni biologici)



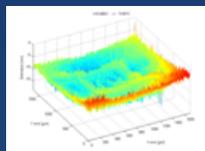
CARATTERIZZAZIONE DI STRUTTURE MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems)



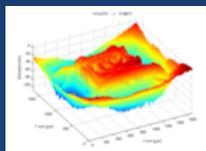
CARATTERIZZAZIONE
DI MEMS



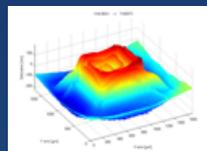
PROFILOMETRIA SENZA CONTATTO
CON UN SINGOLO OLOGRAMMA



T=25 °C

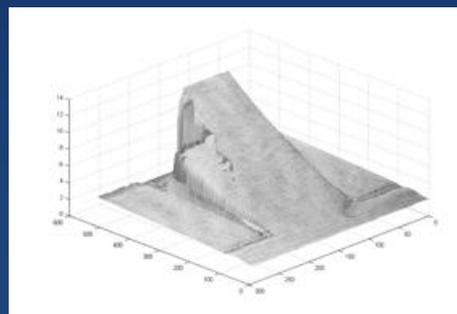


T=366 °C

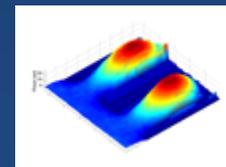
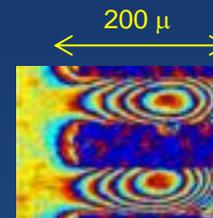


T=693 °C

- MISURA DELLE VARIAZIONI DIMENSIONALI DI STRUTTURE MEMS SOTTOPOSTE A CARICO TERMICO
- STUDIO DINAMICO DI MEMS ATTUATE



EFI - EXTENDED FOCUS IMAGE
CON UN SINGOLO OLOGRAMMA

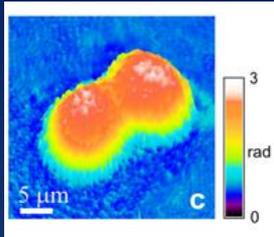


MISURA DEGLI
STRESS RESIDUI



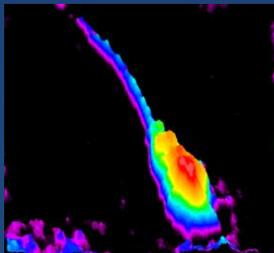
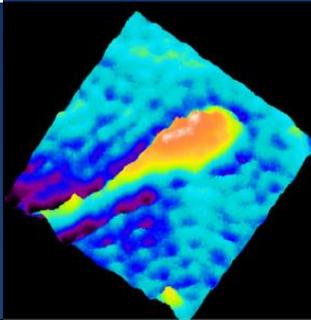
OLOGRAFIA DIGITALE IN BIOLOGIA

Microscopia quantitativa
in contrasto di fase
di cellule coltivate *in-vitro*



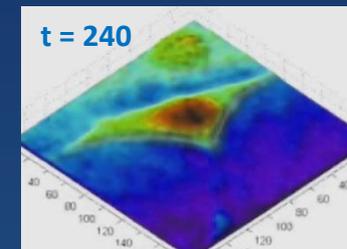
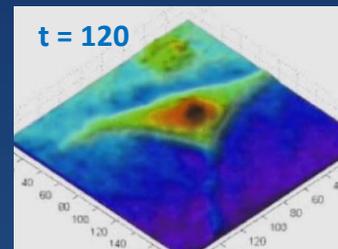
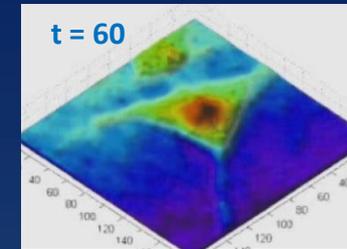
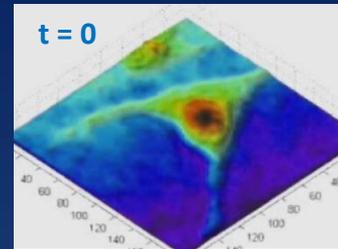
Immagini 3D di cellule

Misura dello spessore
e/o
dell'indice di rifrazione
(Colori codificati)



METODO

- Non invasivo
- Quantitativo
- "Label-free"
- Altissima risoluzione



(t =minuti)

Fotogrammi da un movie olografico
per lo studio morfologico di cellule
coltivate in vitro

Bibliografia in:

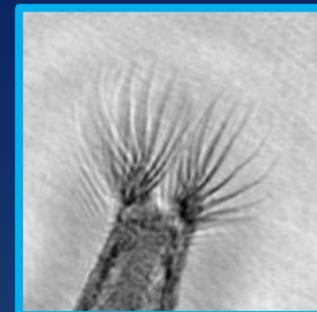
Lisa Miccio , Andrea Finizio, Roberto Puglisi, Donatella Balduzzi, Andrea Galli and Pietro Ferraro

"Dynamic DIC by digital holography microscopy for enhancing phase-contrast visualization " - BIOMEDICAL OPTICS EXPRESS, - 1 February 2011 , Vol. 2, No. 2

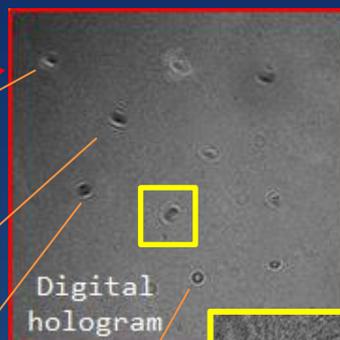


OLOGRAFIA DIGITALE - ESEMPI DI APPLICAZIONE

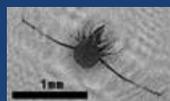
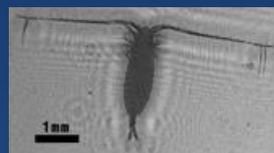
3D IMAGING di specie acquatiche microscopiche



**INTERO VOLUME
ANALIZZATO
IN UN SINGOLO
OLOGRAMMA**

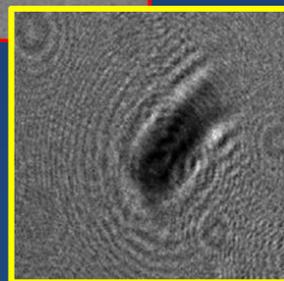
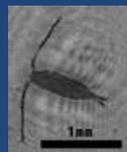
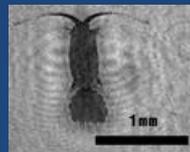


DETTAGLIO



IMMAGINI OTTENUTE DA UN
SINGOLO OLOGRAMMA.

I MICROORGANISMI
SI TROVANO SU PIANI DIVERSI



PORZIONE
DELL'OLOGRAMMA

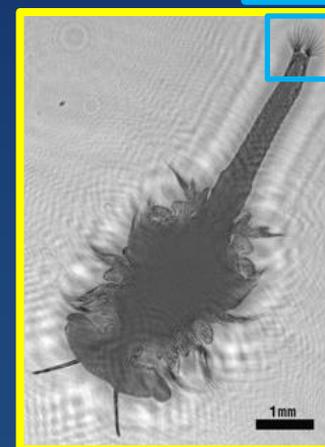


IMMAGINE
RICOSTRUITA



Il problema di produrre immagini attraverso mezzi torbidi non è nuovo...

LE POTENZIALITÀ DELLA TECNICA OLOGRAFICA
SONO STATE DIMOSTRATE GIÀ NEGLI ANNI 60...

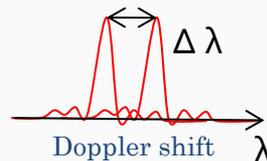
Karl A. Stetson, *J. Opt. Soc. Am.*, 1967, 57, 1060.

A.W. Lohmann and C.A. Shuman, *Opt. Comm.*, 1973, 7, 93.

A.W. Lohmann and H. Schmalfuss, *Opt. Comm.*, 1978, 26, 318.

CONCETTO DI BASE

NEL CASO DI MEZZI TORBIDI IN MOVIMENTO
LA RADIAZIONE LUMINOSA CHE COLPISCE LE PARTICELLE
SUBISCE UNO SHIFT DOPPLER.
CIO' LA RENDE INUTILIZZABILE PER IL PROCESSO OLOGRAFICO





VISIONE OLOGRAFICA ATTRAVERSO MEZZI TORBIDI - BACKGROUND

Segnale registrato $I(f) = |R(f) + O(f)|^2$
 ↓ ↓
 Riferimento Oggetto

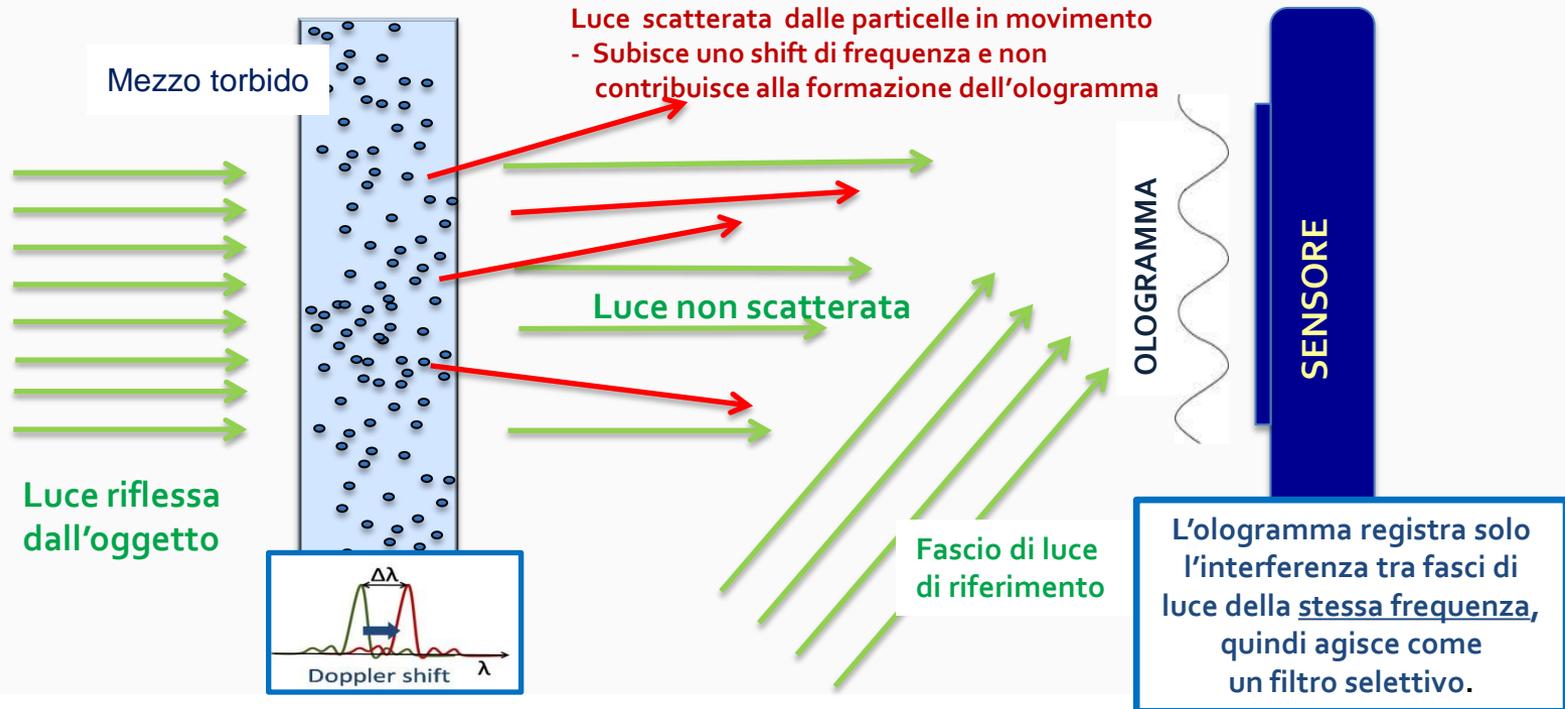
$$O(f) = O_{object}(f) + O_{particles}(f)$$

Nel caso di particelle in movimento

$$O(f, f + \Delta f) = O_{object}(f) + O_{particles}(f + \Delta f) \quad |\Delta f| = \frac{v}{\lambda}$$

Condizione necessaria $\rightarrow v > V_{threshold}$

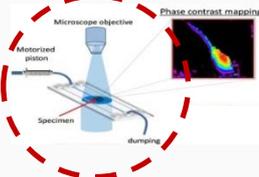
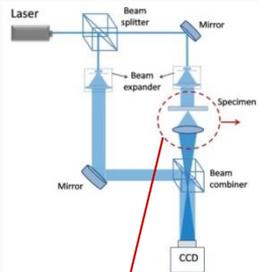
$$O(f, f + \Delta f) = O_{object}(f) + O_{particles}(f + \Delta f) \quad |\Delta f| = \frac{v}{\lambda}$$





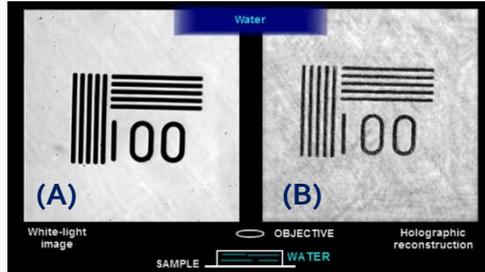
VISIONE OLOGRAFICA ATTRAVERSO MEZZI TORBIDI - BACKGROUND

ESEMPIO DI MICROSCOPIA OLOGRAFICA ATTRAVERSO MEZZI TORBIDI *

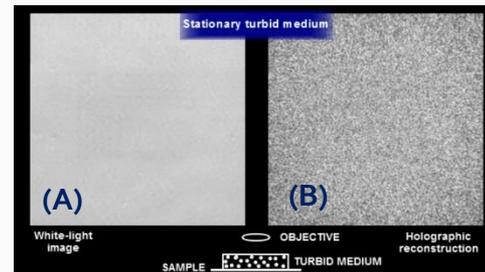


Mezzo torbido: latte

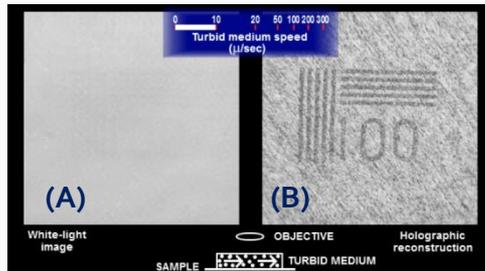
Channel dimensions:
1mm (larghezza)
200 μm (profondità)
58,5mm (lunghezza)



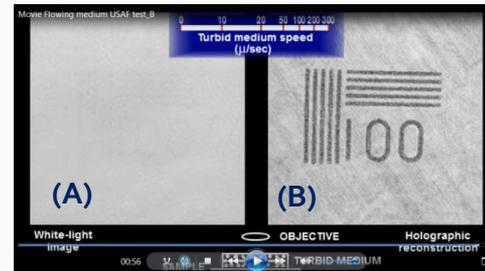
TARGET IMMERSO IN ACQUA



TARGET IMMERSO IN
MEZZO TORBIDO STAZIONARIO



TARGET IMMERSO IN
MEZZO TORBIDO IN MOVIMENTO (10 $\mu\text{m}/\text{SEC}$)



TARGET IMMERSO IN
MEZZO TORBIDO IN MOVIMENTO (300 $\mu\text{m}/\text{SEC}$)

Visualizzazione di un target standard (100 linee/mm), utilizzato per la verifica della risoluzione dei microscopi.

Il target è immerso in un fluido torbido.

Il fluido scorre in un microcanale con velocità controllabile.

Con la normale illuminazione il target non è visibile (A).

Utilizzando l'olografia il target è visualizzato. (B)
La risoluzione dell'immagine è funzione della velocità del fluido.

(A) - VISUALIZZAZIONE NORMALE
(B) - RICOSTRUZIONE OLOGRAFICA

IN FLUIDI TORBIDI QUASI STATICI SONO COMUNQUE PRESENTI MOTI BROWNIANI

IN QUESTO CASO, IL RUMORE INTRODOTTO DALLO SCATTERING DELLE PARTICELLE PUÒ ESSERE FORTEMENTE RIDOTTO ELABORANDO NUMERICAMENTE ACQUISIZIONI OLOGRAFICHE MULTIPLE **

* P. Ferraro et al. «Microscopy imaging and quantitative phase contrast mapping in turbid microfluidic channels by digital holography»

Lab Chip, Vol. 12, Issue 17, pp. 3073 – 3076 (2012)

Lab on a Chip

** V. Bianco et al., «Clear coherent imaging in turbid microfluidics by multiple holographic acquisitions,» Optics Letters, Vol. 37, Issue 20, (2012).



OLOGRAFIA DIGITALE NELL'INFRAROSSO

DAL MICRO AL MACRO ...

PRESSO L'ISTITUTO NAZIONALE DI OTTICA SI UTILIZZA L'OLOGRAFIA DIGITALE CON RADIAZIONE INFRAROSSA PER OTTENERE OLOGRAMMI DI OGGETTI DI GRANDI DIMENSIONI

Vantaggi rispetto alla luce visibile

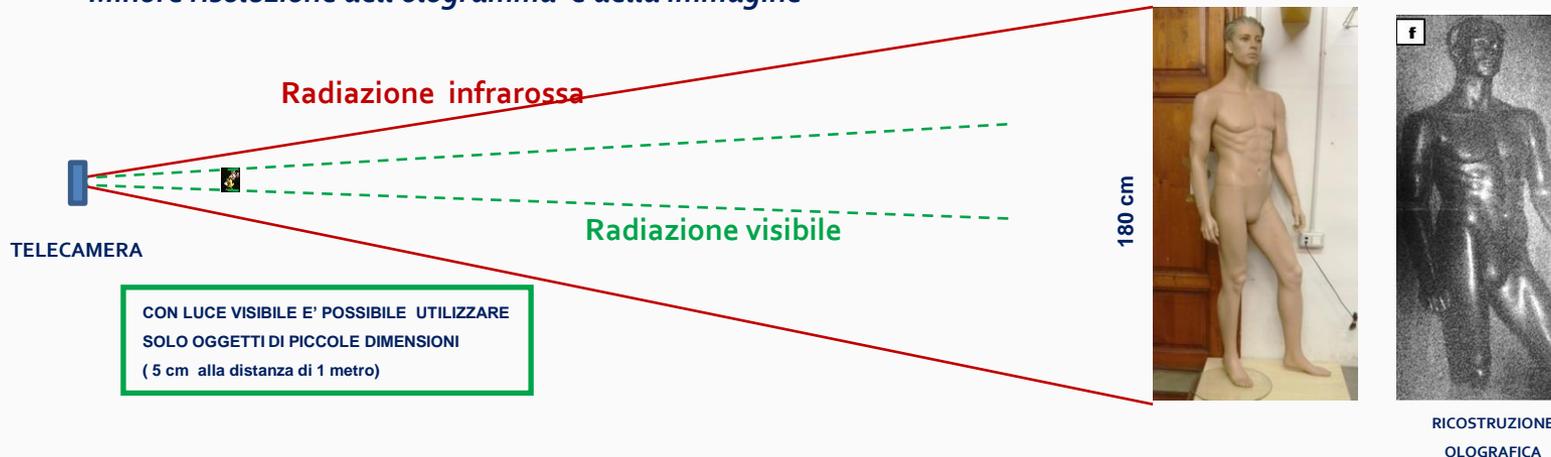
- Forte incremento dell'apertura numerica (angolo di vista) del sistema.
- Maggiori dimensioni degli oggetti visualizzabili (2 metri alla distanza di circa 5 metri)
- Maggiore lunghezza d'onda
- Minore sensibilità alle vibrazioni

Principali svantaggi

- Grandi dimensioni dei pixel del sensore IR
- Minore risoluzione dell'ologramma e della immagine

$$D = \frac{\lambda z_o}{d_p}$$

λ
lunghezza d'onda

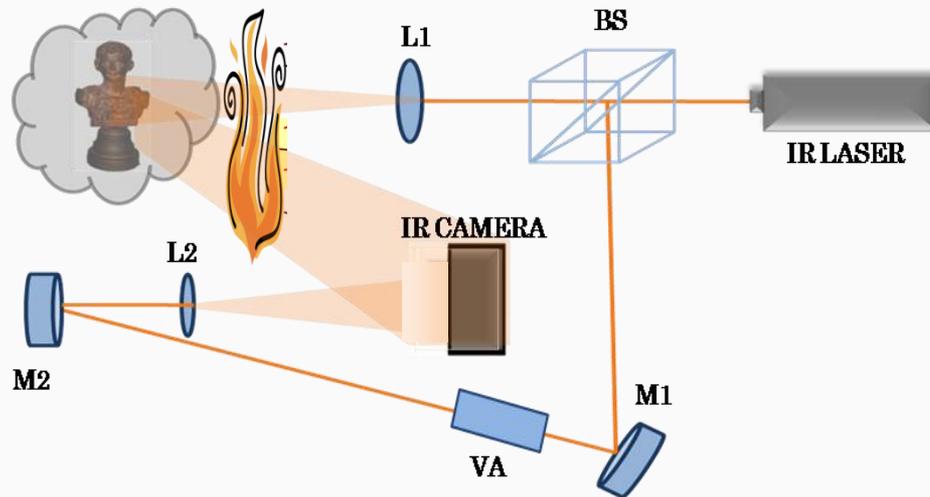




OLOGRAFIA DIGITALE NELL'INFRAROSSO

Visione olografica attraverso fumo e fiamme

Set-up sperimentale



CHE SONO MEZZI
TORBIDI

Strumentazione impiegata



IR-LASER: Laser CO₂ – 10.6 μm – 100W

M: Specchi in oro

BS: Beam Splitter in Zn-Se

L: Lenti in Zn-Se

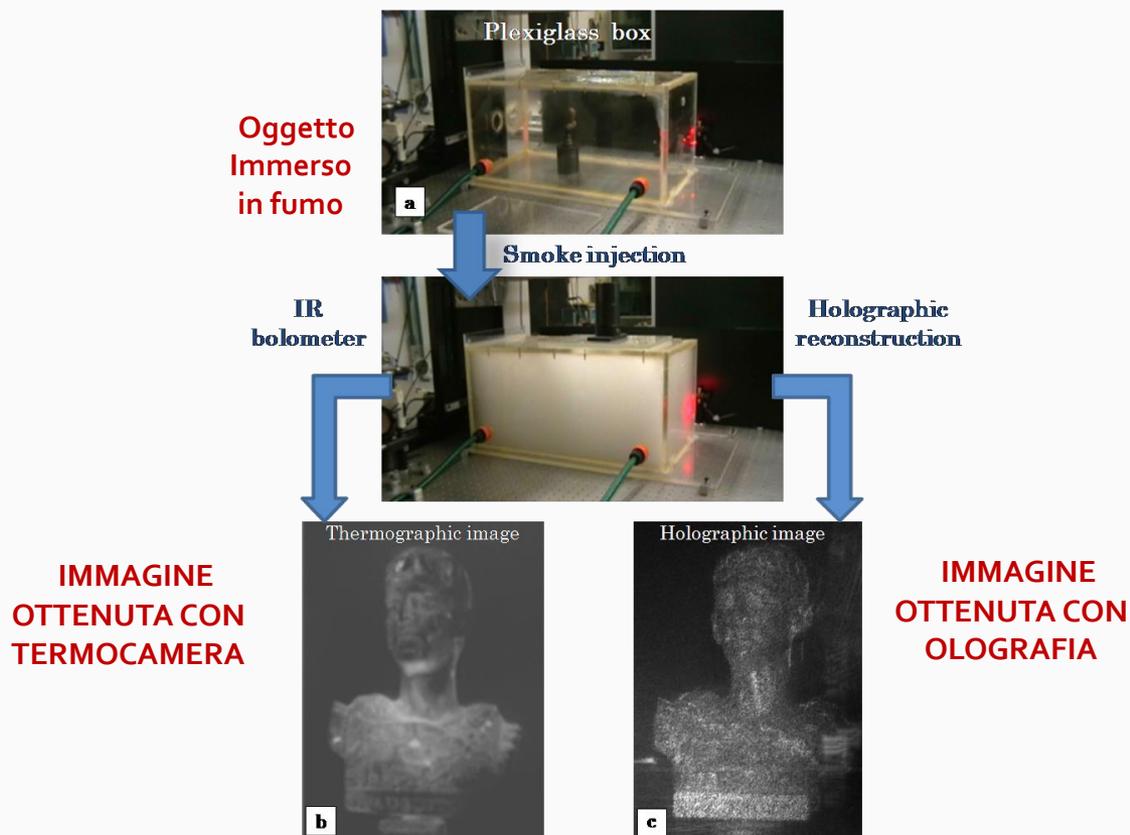
VA: Filtro attenuatore variabile



OLOGRAFIA DIGITALE NELL'INFRAROSSO

Confronto tra camera termografica e ricostruzione olografica

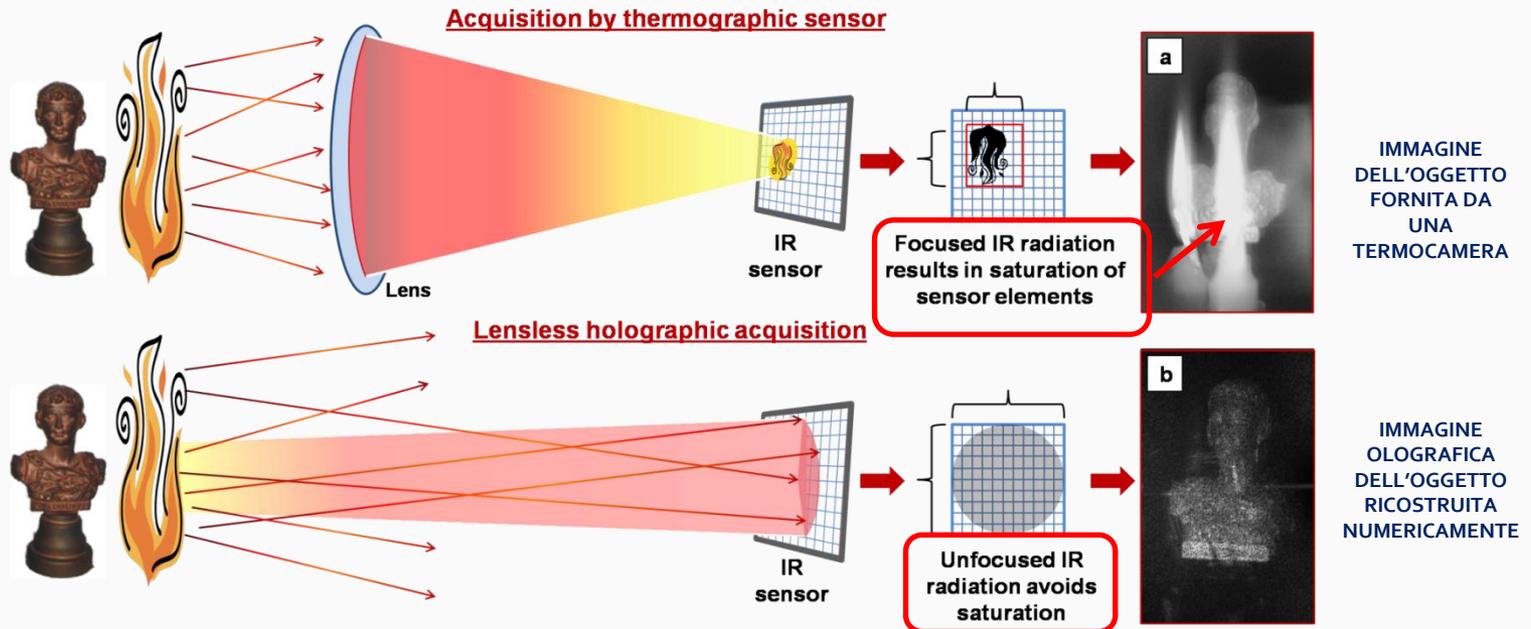
VISIONE ATTRAVERSO IL FUMO



Entrambe le tecniche non sono ostacolate dalla presenza di fumo, indipendentemente dalla densità.

OLOGRAFIA DIGITALE NELL'INFRAROSSO

Visione attraverso fiamme con olografia IR: come funziona



L'olografia digitale consente di acquisire la luce proveniente dall'oggetto senza l'utilizzo di un obiettivo.

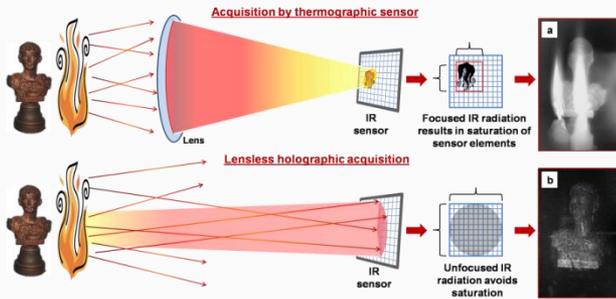
La radiazione è uniformemente distribuita sul sensore, evitando così la saturazione dovuta all'emissione della fiamma focalizzata sul sensore, tipica delle tecniche termografiche esistenti.

L'immagine olografica dell'oggetto è ricostruita numericamente.

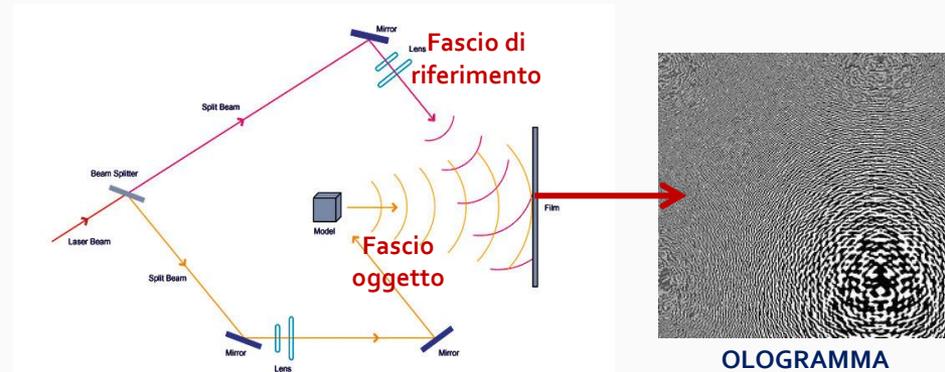


OLOGRAFIA DIGITALE NELL'INFRAROSSO

Visione attraverso fiamme con olografia IR: come funziona



- ❑ In una termocamera si utilizza un obiettivo per formare l'immagine sul sensore.
- ❑ In olografia non viene utilizzato alcun obiettivo.



- ❑ In olografia il target è illuminato dal laser. Solo la radiazione scatterata dal target (fascio oggetto) contribuisce al processo di registrazione olografica perché coerente con il fascio di riferimento, che proviene dallo stesso laser.

Test del metodo olografico su un oggetto metallico dietro una fiamma

IMMAGINE
OTTENUTA
CON TERMOCAMERA

LE FIAMME
SATURANO IL
SENSORE E NON
PERMETTONO LA
VISIONE
DELL'OGGETTO

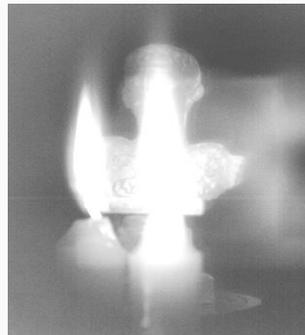


IMMAGINE
OTTENUTA CON
METODO OLOGRAFICO

L'OGGETTO E'
INTEGRALMENTE
VISUALIZZATO





OLOGRAFIA DIGITALE NELL'INFRAROSSO

Test del metodo olografico su una persona dietro una fiamma

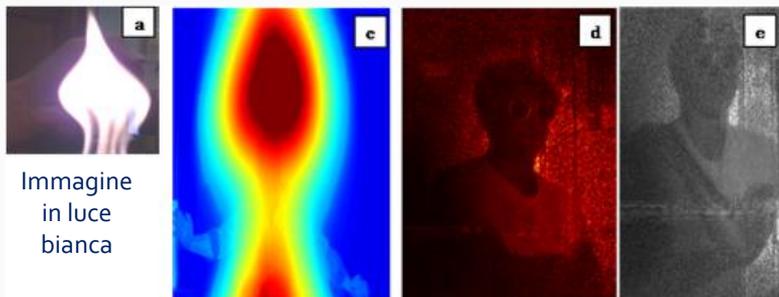


Immagine
in luce
bianca

Immagine
termografica

Ricostruzioni olografiche.
Chiara visualizzazione
dei soggetti oltre le fiamme

CON L'OLOGRAFIA IR È POSSIBILE REGISTRARE L'OLOGRAMMA DI UNA PERSONA A PARTIRE DA UNA DISTANZA DI CIRCA 4 METRI.

GRAZIE ALLA LUNGHEZZA D'ONDA UTILIZZATA ($10.6 \mu\text{m}$) SI OTTIENE:

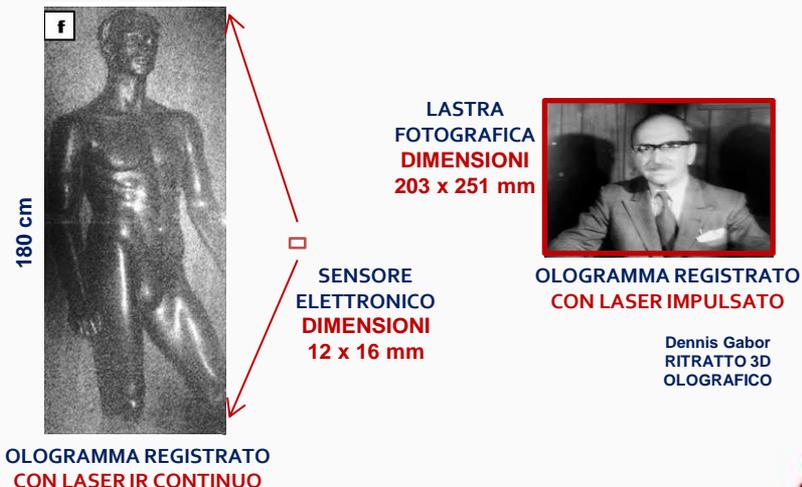
- UNA NOTEVOLE APERTURA NUMERICA DEL SISTEMA
- MINORE SENSIBILITA' ALLE VIBRAZIONI

* IN LUCE VISIBILE (LUNGHEZZA D'ONDA MEDIA: $0,5 \mu\text{m}$) I MOVIMENTI ANCHE MINIMI DI UNA PERSONA NON PERMETTONO LA REGISTRAZIONE DI UN OLOGRAMMA A MENO CHE NON SI USI UN LASER AD IMPULSI DI POCHI MICROSECONDI

DUE RISULTATI SCIENTIFICI DI RILIEVO

VISIONE ATTRAVERSO LE FIAMME

PRIMO OLOGRAMMA DI FIGURA UMANA IN MOVIMENTO SU SENSORE ELETTRONICO



OLOGRAMMA REGISTRATO
CON LASER IR CONTINUO

LASTRA
FOTOGRAFICA
DIMENSIONI
203 x 251 mm

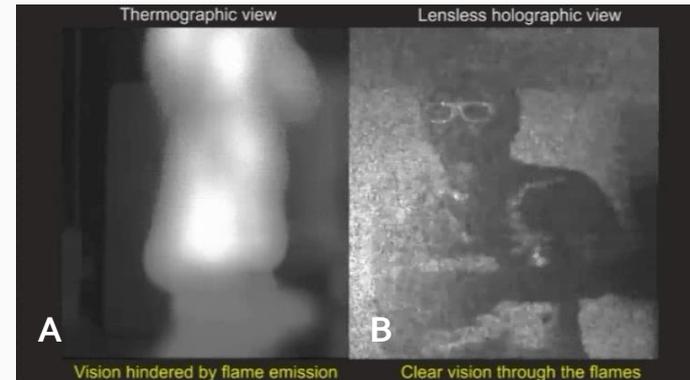
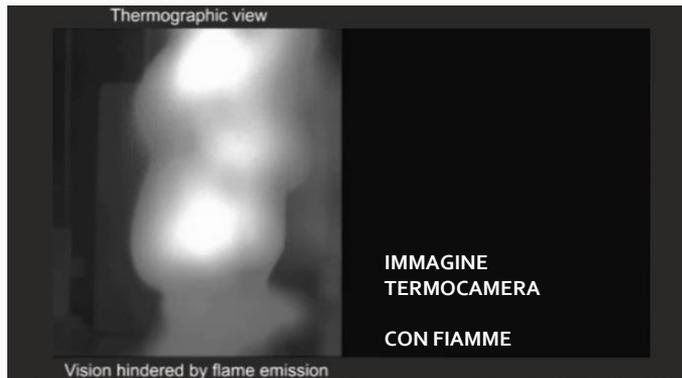
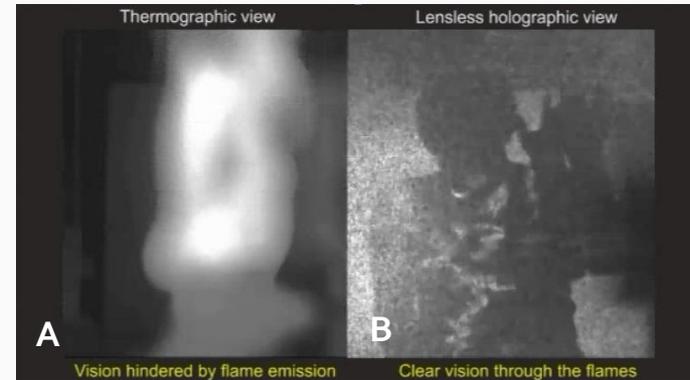
OLOGRAMMA REGISTRATO
CON LASER IMPULSATO

Dennis Gabor
RITRATTO 3D
OLOGRAFICO



OLOGRAFIA DIGITALE NELL'INFRAROSSO

VISIONE ATTRAVERSO LE FIAMME - CONFRONTO FRA TERMOGRAFIA E OLOGRAFIA IR



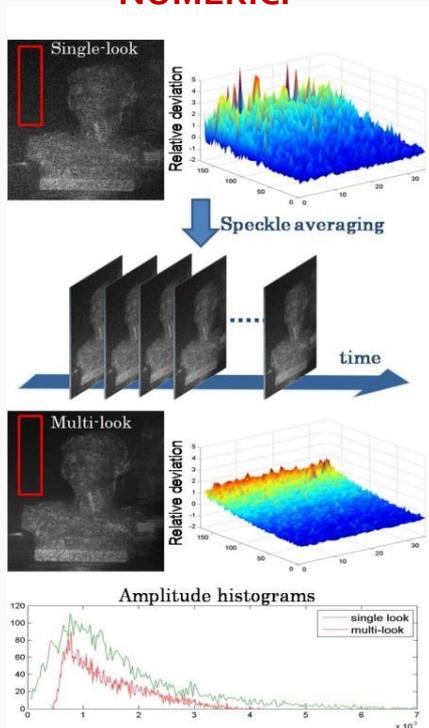
(A) - CON TERMOCAMERA
(B) - CON OLOGRAFIA IR

M. Locatelli, E. Pugliese, M. Paturzo, V. Bianco, A. Finizio, A. Pelagotti, P. Poggi, L. Miccio, R. Meucci, and P. Ferraro
«Imaging live humans through smoke and flames using far-infrared digital holography»
Optics Express, Vol. 21, Issue 5, pp. 5379-5390 (2013)



OLOGRAFIA DIGITALE NELL'INFRAROSSO

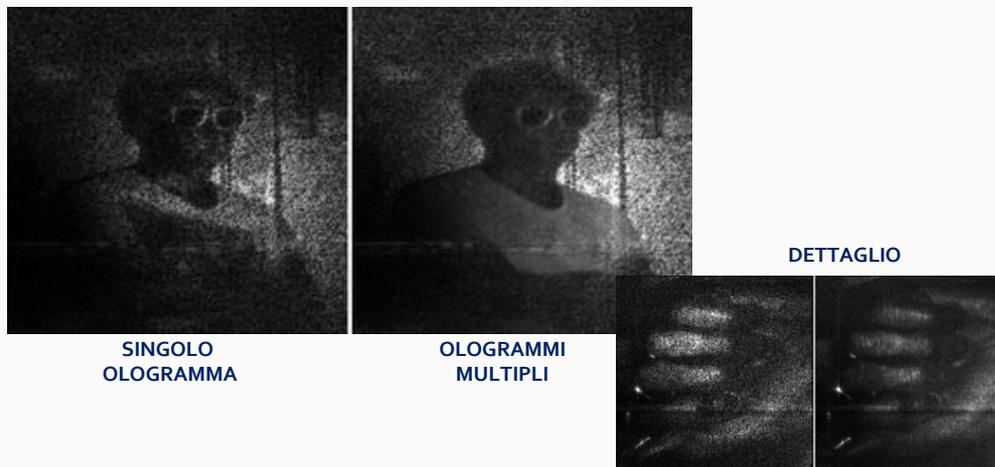
INCREMENTO DELLA QUALITÀ DELL'IMMAGINE OLOGRAFICA CON METODI NUMERICI



LA VELOCITÀ DI ACQUISIZIONE DELLA TELECAMERA UTILIZZATA PERMETTE DI REGISTRARE MOLTI OLOGRAMMI DELLA STESSA SCENA IN RAPIDA SUCCESSIONE.



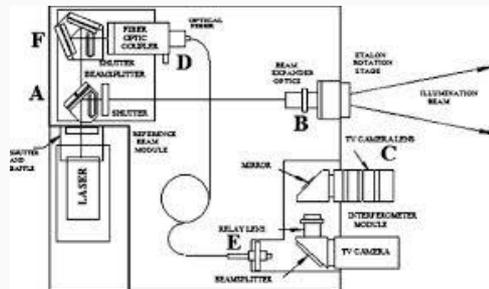
VARI METODI NUMERICI PERMETTONO DI RIDURRE IL RUMORE E INCREMENTARE LA QUALITÀ DELLA IMMAGINE FINALE.





OLOGRAFIA DIGITALE NELL'INFRAROSSO

IMPLEMENTAZIONE DIMOSTRATIVA DI UNA OLO-CAMERA



HOLO-Camera: schema ottico



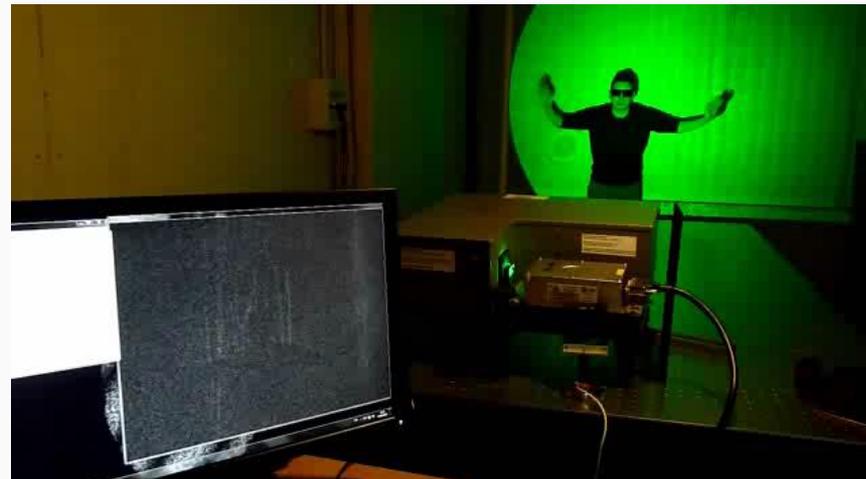
APPARATO COMPATTO
SPERIMENTALE CONTENETE
TUTTI I COMPONENTI
(DIMENSIONI 50x50 cm)

APPARATO COMPATTO SPERIMENTALE REALIZZATO CON LASER IN LUCE VISIBILE AL SOLO SCOPO ILLUSTRATIVO DEL FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA (IN ASSENZA DI FUMO O FIAMMA)

L'APPARATO INTEGRA LA PARTE OTTICA E LA PARTE ELETTRONICA.

REGISTRA UNA SEQUENZA DI OLOGRAMMI E NE EFFETTUA LA RICOSTRUZIONE CON UNA FREQUENZA DI 30 FOTOGRAMMI AL SECONDO GRAZIE AD UN SOFTWARE DEDICATO.

LE IMMAGINI RICOSTRUITE SONO VISUALIZZATE IN TEMPO REALE SU UN MONITOR

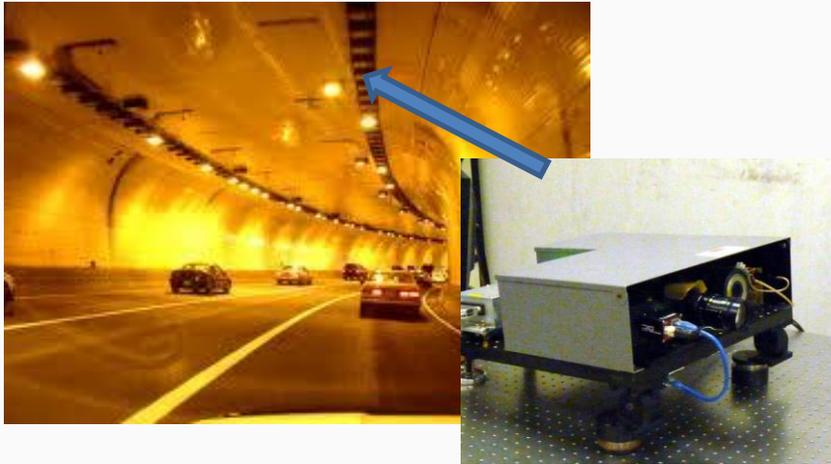


DIMOSTRAZIONE DEL FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA
(CON LASER VERDE A SCOPO DI VISIBILITA')



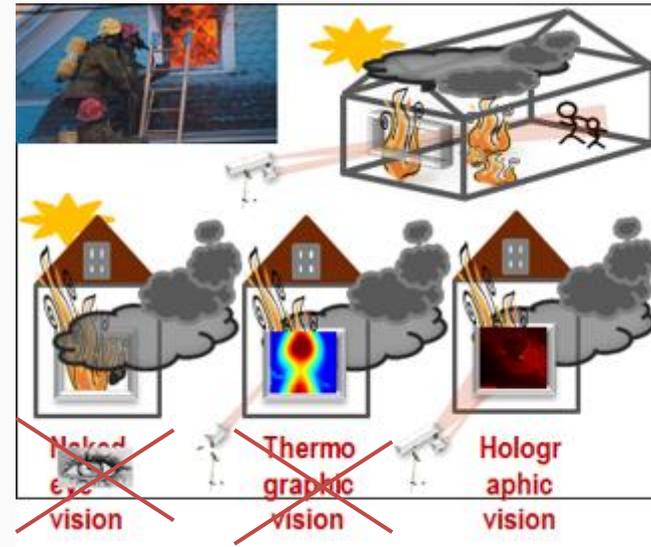
OLOGRAFIA DIGITALE NELL'INFRAROSSO

Scenari di applicazione



Postazioni fisse:

- Gallerie
- Tunnel
- Supporto in siti di addestramento VF



Postazioni Mobili:

- Per impiego flessibile sul campo per operazioni search/rescue persone.
- Ispezione & ricerca con sistemi mobili teleguidati (oggetti potenzialmente esplosivi in situazioni di incendi)



OLOGRAFIA DIGITALE NELL'INFRAROSSO

Google **firefighter holography**

Web Images Maps Shopping Videos More Search tools

About 11,200,000 results (0.49 seconds)

FOX NEWS ON AIR NOW 11a Happening Now

Holographic tech lets firefighters see through flames

By Allison Barrie / War Games / Published March 05, 2013 / FoxNews.com

A new imaging technology can help firefighters peer through smoke and flames to find living people obscured by a fire. (AP PHOTO/ERIC GALEZZI)

Holographic tech lets firefighters see through flames | www.foxnews.com/.../holographic-tech-lets-firefighters-see-through-flames
Mar 5, 2013 – Infrared holography can reveal details hidden behind smoke and flames, potentially life-saving information to help firefighters and emergency responders.

Infrared Digital Holography Allows Firefighters to See Through Smoke and Flames | www.osa.org/.../Infrared_Digital_Holography_Allows_Firefighters_to_See_Through_Smoke_and_Flames
Feb 26, 2013 – Infrared Digital Holography Allows Firefighters to See Through Smoke and Flames. Other applications could include monitoring fires and detecting hidden people. You've visited this page 2 times. Last visit: 3/16/13

BBC NEWS TECHNOLOGY

Firefighters could be helped by holograph technology

Infra-red holography could be more useful than the camera imagery currently used by firefighters searching for people trapped in burning buildings, researchers in Italy say.

They have built an imaging system that uses an infra-red laser to penetrate areas of thick smoke and flames.

The beam reflects off any objects, including people, within the area.

Infra-red camera lenses can be blinded by intense flames, the researchers say.

Infrared holography lets firefighters see through fire and smoke | www.theverge.com/.../firefighters-see-through-fire-with-infrared-holography
Feb 27, 2013 – It isn't easy to see through the smoke and flames of a fire, but it's crucial for emergency responders like firefighters, who need to find people trapped inside.

TopNews Arab Emirates

A New Helpful Technology of Infra-Red Holography for Firefighters

Search

Infrared digital holography allows firefighters to see through smoke and flames | [daily.com/releases/2013/02/130226101454.html](http://www.daily.com/releases/2013/02/130226101454.html)
Firefighters now have a new tool that could help them find people trapped in burning buildings. We've developed a new technique using digital holography. You've visited this page 2 times. Last visit: 2/28/13

EXTREME TECH

Dark Knight-style, holographic 3D imaging will help firefighters save lives

By Graham Templeton on February 28, 2013 at 6:15 am | 3 Comments

BBC News - Firefighters could be helped by holograph technology | www.bbc.co.uk/news/technology-21602952
Feb 27, 2013 – Infra-red holography could be used to help firefighters locate people trapped in fires, researchers say. You've visited this page many times. Last visit: 4/5/13



In sintesi

- L'olografia digitale nel visibile è una tecnica che consente di effettuare misure di campioni microscopici e test non distruttivi su oggetti di piccole dimensioni (max 10 cm).
- Se utilizzata nell'infrarosso, la lunghezza d'onda superiore consente di superare problemi dovuti a vibrazioni e rumore sismico. Inoltre consente la registrazione di ologrammi di target di dimensioni umane, anche in movimento
- Le registrazioni possono avvenire alla luce del sole, in “out of lab conditions”.
- Come le normali termocamere, l'IR-DH vede chiaramente attraverso il fumo.
- A differenza dei sensori esistenti, il processo di focusing numerico consente di evitare che il sensore venga saturato dalle emissioni dovute alle fiamme.
- E' inoltre possibile la messa a fuoco numerica su diversi piani per ispezionare oggetti diversi presenti sulla scena.



FUTURI SVILUPPI

- Laser compatti ad elevata potenza, pulsati o CW
- Microbolometri a maggior risoluzione spaziale
- Sistemi integrati su postazioni mobili
- Sistemi di monitoraggio in remoto.

PROSSIMI STEP

- Prova dimostrativa su campo presso centro V.F. Area Napoli;
- Simulazione sul campo c/o centro addestramento VF Montelibretti (Roma)
- Dimostrazione e documentari per BBC e Discovery Channel.

Gruppo INO Napoli & Firenze

- Andrea Finizio
- Simonetta Grilli
- Melania Paturzo
- Vittorio Bianco
- Pasquale Memmolo
- Lisa Miccio
- Massimiliano Locatelli
- Pasquale Poggi
- Ricardo Meucci
- Eugenio Pugliese
- Anna Pelagotti
- Andrea Geltrude