

INO-CNR  
ISTITUTO  
NAZIONALE DI  
OTTICA

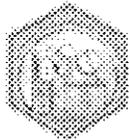
## Individuazione di difettosità nel processo di saldatura laser continua di parti metalliche

**Guido Toci**

### ***Seminario***

“Un tesoro dal mondo della ricerca pubblica:  
le tecnologie del CNR a disposizione delle imprese”

*Camera di Commercio di Reggio Calabria*



INO-CNR  
Istituto Nazionale  
di Ottica

## Il brevetto

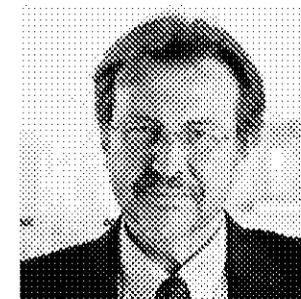


*“Method for detecting flaws in the process for the continuous laser welding of metallic portions”*

### Inventori



Guido Toci  
INO-CNR



Roberto Pini  
IFAC-CNR

Data prima registrazione : 31/08/2010

### Famiglia di brevetti:

Brevetto italiano	ITRM20100461 (A1)
European Patent	EP2611565 A1
WIPO Patent	WO2011IB53767
US Patent	US2014149075 (A1)

Guido Toci

INO-CNR

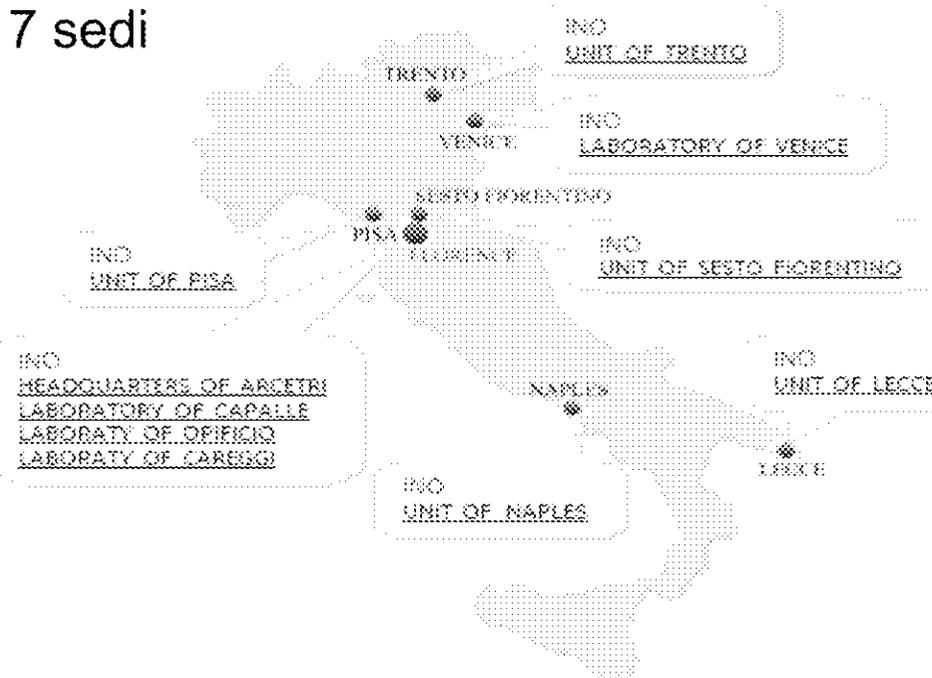
[guido.toci@ino.it](mailto:guido.toci@ino.it)



INO-CNR  
NATIONAL  
INSTITUTE OF  
OPTICS

# Istituto Nazionale di Ottica INO-CNR

7 sedi



>100 ricercatori



[www.ino.it](http://www.ino.it)

L'attuale Istituto Nazionale di Ottica opera da oltre novanta anni nel settore dell'Ottica, intesa nell'accezione più ampia.

Le attività si articolano in programmi di ricerca pura e applicata, di trasferimento tecnologico, di consulenza, di misura e collaudo, disponibili per imprese e enti pubblici ed imprese, e attività di formazione

Guido Toci

INO-CNR

[guido.toci@ino.it](mailto:guido.toci@ino.it)

[www.ino.it](http://www.ino.it)



Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara", IFAC-CNR



Sede: Sesto Fiorentino (FI)



[www.ifac.cnr.it](http://www.ifac.cnr.it)

45 ricercatori, 14 tecnici

### Settori di ricerca

Elaborazione segnali ed immagini  
Laser e applicazioni  
Osservazione del sistema Terra

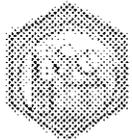
Elettromagnetismo applicato  
Optoelettronica e fotonica  
Struttura della materia e spettroscopia

*Guido Toci*

*INO-CNR*

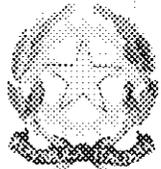
*guido.toci@ino.it*

[www.ino.it](http://www.ino.it)

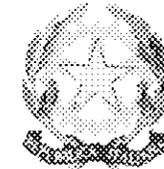


INO-CNR  
 ISTITUTO  
 NAZIONALE DI  
 OTTICA

## Il progetto



Progetto di Ricerca Nazionale "Smart Flex"  
 FAR DM29107 - FIRB RBIP06WJ4W  
 28/9/2007 - 23/09/2010



*Finanziato dal MIUR su:*

*Fondo per Investimenti sulla Ricerca di Base (FIRB)  
 Fondo per le Agevolazioni alla Ricerca (FAR)*

### Partner:

Centro Ricerche Fiat



COMAU



Consiglio Nazionale delle Ricerche  
 (ITIA-CNR , IFAC-CNR)



Magneti Marelli



Università di Genova  
 Dip. Ing. Meccanica



ENEA



Univ. Catania  
 Dip. Ingegneria



Guido Toci

INO-CNR

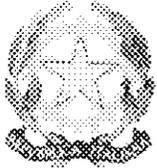
[guido.toci@ino.it](mailto:guido.toci@ino.it)

[www.ino.it](http://www.ino.it)



INO-CNR  
ISTITUTO NAZIONALE  
DI RICERCA

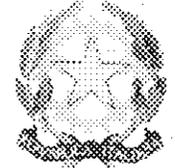
## Il progetto



Progetto di Ricerca Nazionale "Smart Flex"  
Sistemi di Produzione Intelligenti, Flessibili e Riconfigurabili

FAR DM29107 - FIRB RBIP06WJ4W

28/9/2007 - 23/09/2010



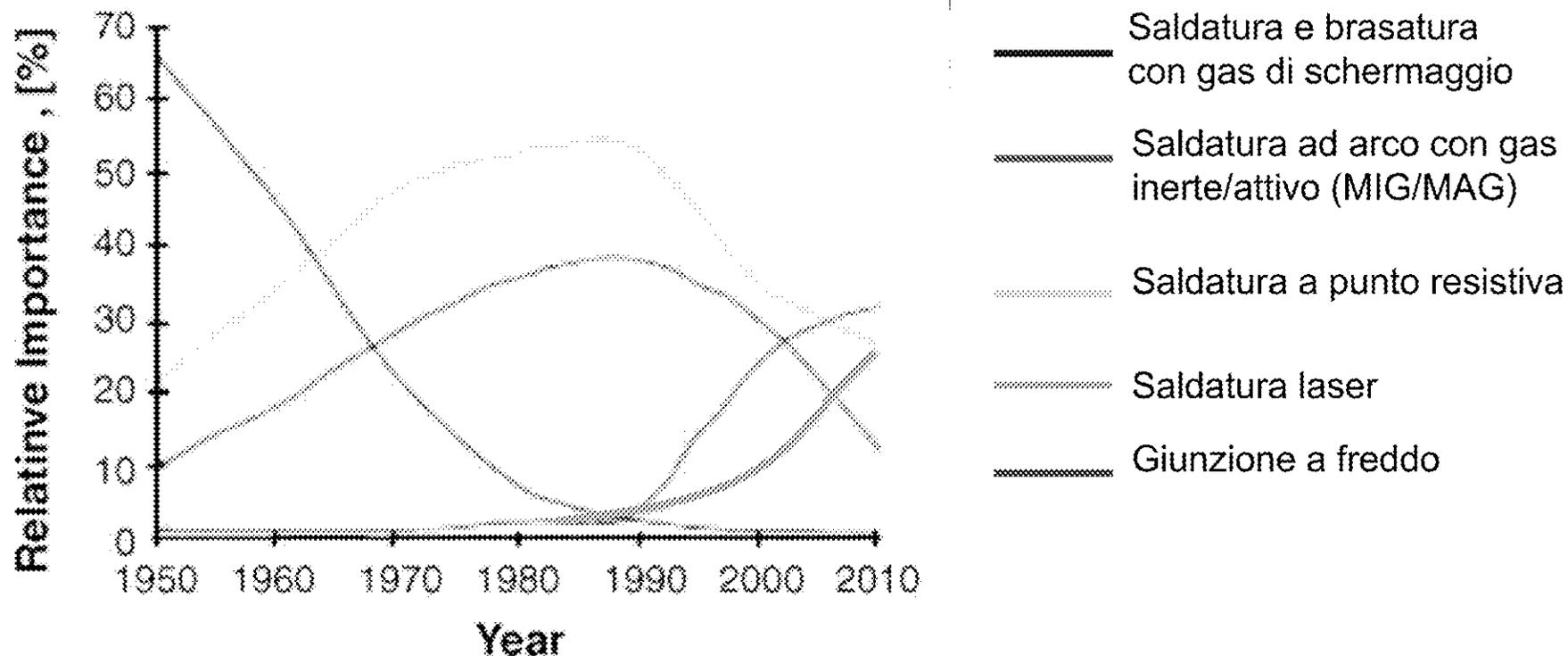
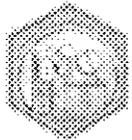
### **Nostri obiettivi del progetto:**

Nuovi metodi di monitoraggio di processo e controllo della qualità del prodotto  
nelle produzioni automobilistiche

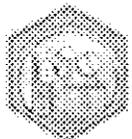
**Sistemi di monitoraggio on line per processi di saldatura laser continua di  
parti metalliche**

- **Sviluppo di nuovi sensori**
- **Sviluppo di metodi per analisi dati**

Attività svolta in stretta collaborazione con i ricercatori del Centro Ricerche Fiat

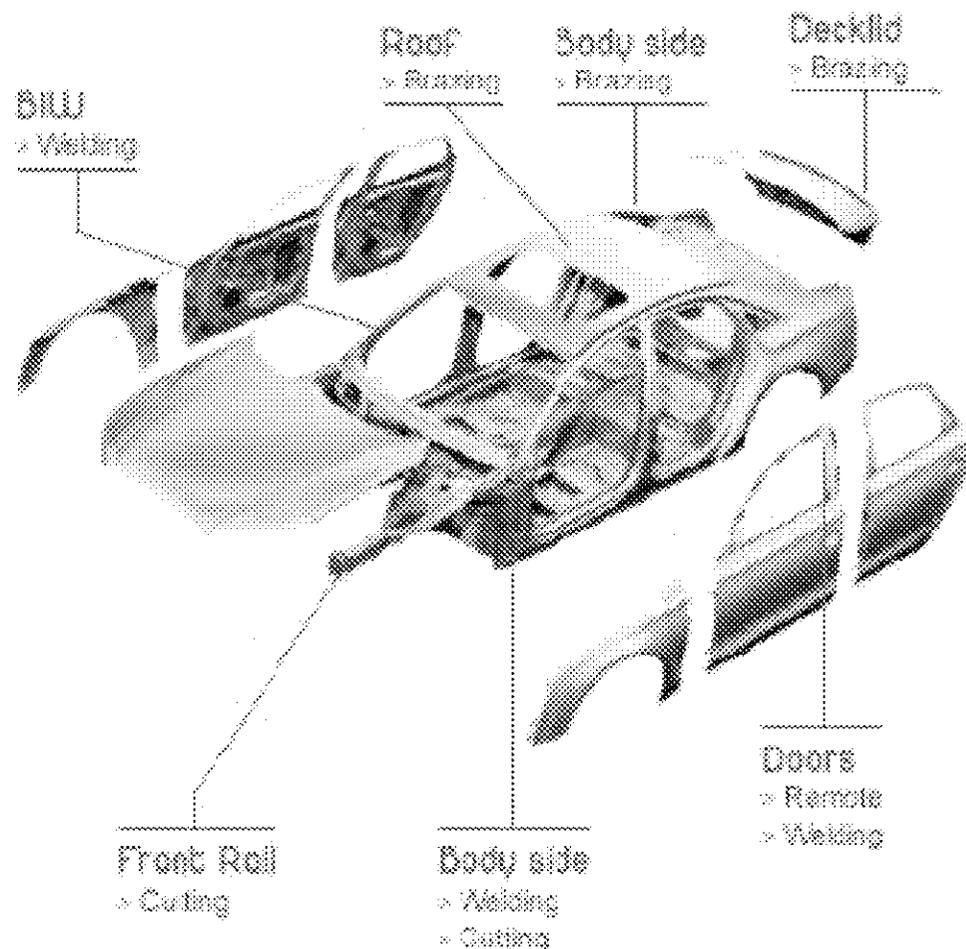


Impiegata ampiamente nell'assemblaggio delle carrozzerie  
Importanza crescente rispetto ad altri metodi di saldatura più tradizionali,  
quali ad esempio la saldatura ad arco e la saldatura resistiva

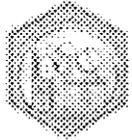


## Vantaggi della saldatura laser

- incremento della velocità di processo (maggiore produttività, riduzione tempi-ciclo, riduzione della distorsione delle parti)
- Maggiore resistenza del giunto
- Riduzione della larghezza delle flange di unione (riduzione consumo materiale e pesi)
- Maggiore flessibilità (es. necessità di accesso da un solo lato)
- Miglior grado di finitura finale



In una singola carrozzeria si impiegano vari metri di saldatura laser continua (es. padiglione, pianale) e varie centinaia di saldature laser spot (es. portiere)

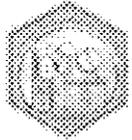


## Problema del controllo qualità

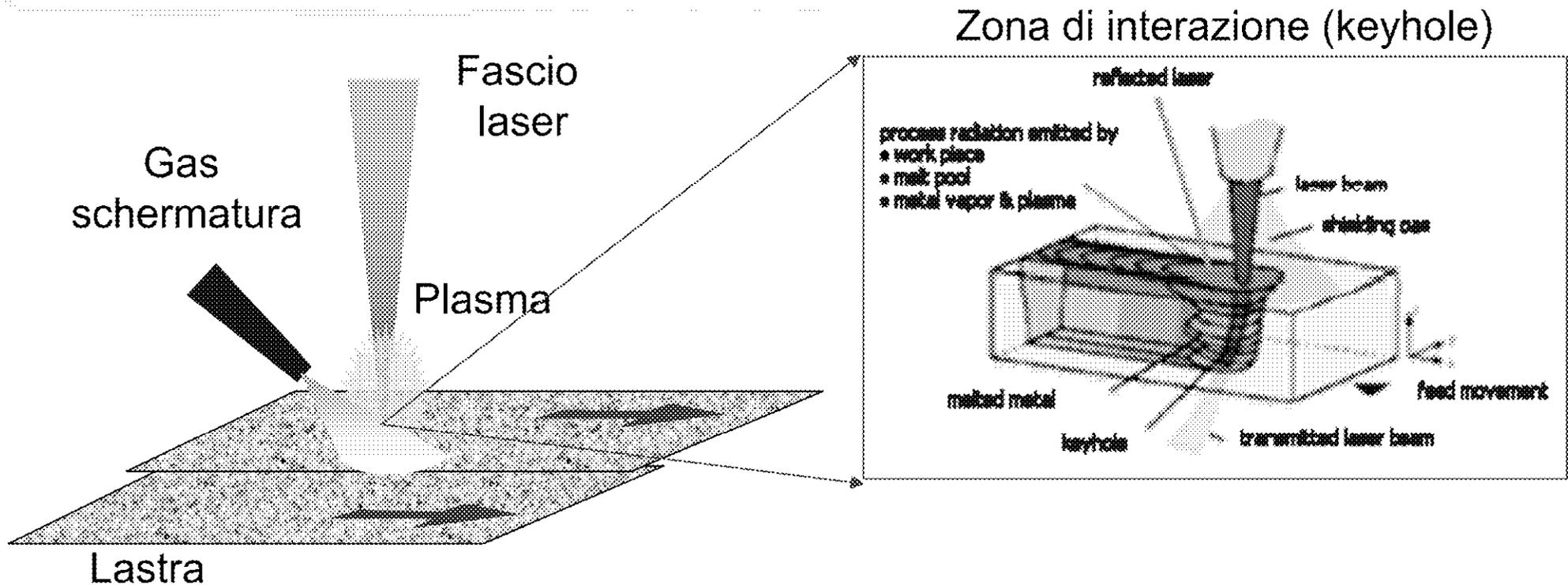
- Normalmente il controllo qualità sulle saldature viene effettuato a posteriori, a campione
- Spesso vengono impiegati controlli distruttivi (prove a fatica, sezioni)

## Obbiettivi

- Sviluppo di sensori e tecniche di monitoraggio **in tempo reale** per il processo di saldatura, per l'individuazione di difetti nella saldatura ottenuta, con caratteristiche di:
  - Velocità di risposta (individuazione di difetti di piccola estensione )
  - Capacità di riconoscimento del tipo di difetto (per **feedback sul processo**)
  - Semplicità e robustezza (per applicazione in ambiente industriale)
- Miglioramento della qualità e sicurezza del prodotto
- Riduzione dello scarto (= costi)



# Saldatura con laser a CO<sub>2</sub>: il processo

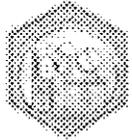


Lastre: es. acciaio con coating di Zn, con gap

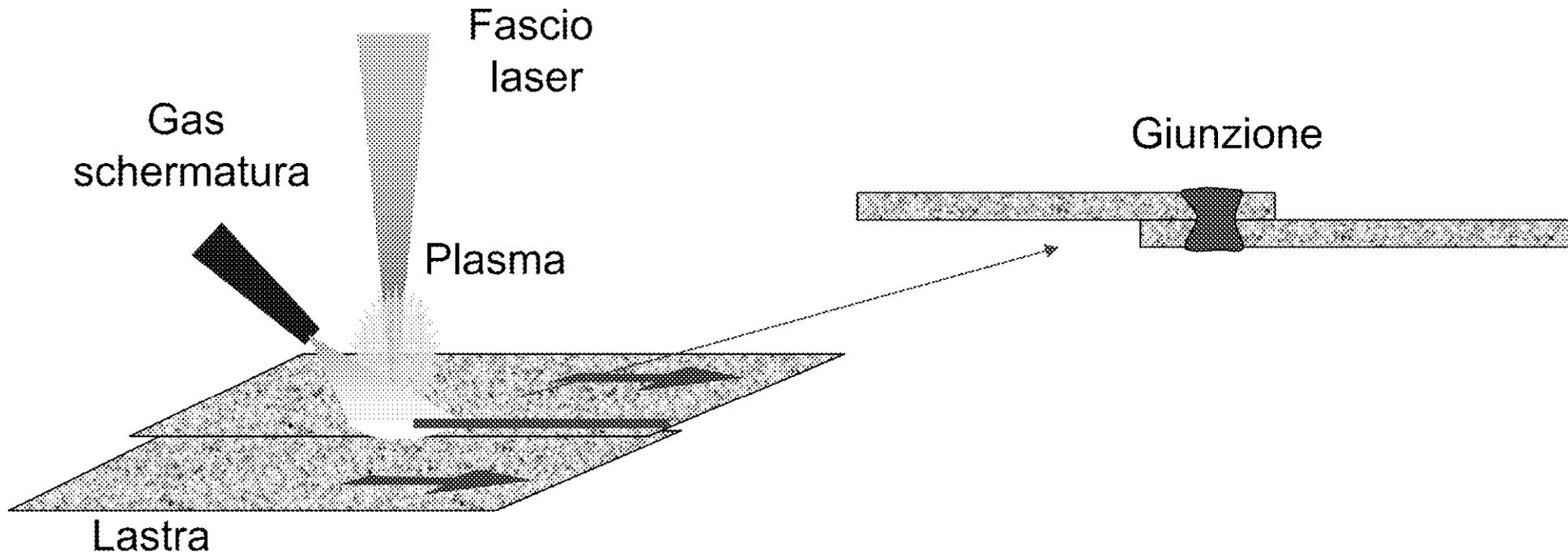
Gas di schermatura: Ne, Ar, N<sub>2</sub>

Fascio laser CO<sub>2</sub>: potenza media (2-3 kW CW)

Velocità avanzamento: 1-3 m/min



# Saldatura con laser a CO<sub>2</sub>: il processo



Lastre: es. acciaio con coating di Zn, con gap

Gas di schermatura: Ne, Ar, N<sub>2</sub>

Fascio laser CO<sub>2</sub>: potenza media 2-3 kW CW

Velocità avanzamento: 1-3 m/min



INO-CNR  
ISTITUTO  
NAZIONALE DI  
OTICA

# Saldatura con laser a CO<sub>2</sub>: il processo



*Clickare per riprodurre il video*

Guido Toci

INO-CNR

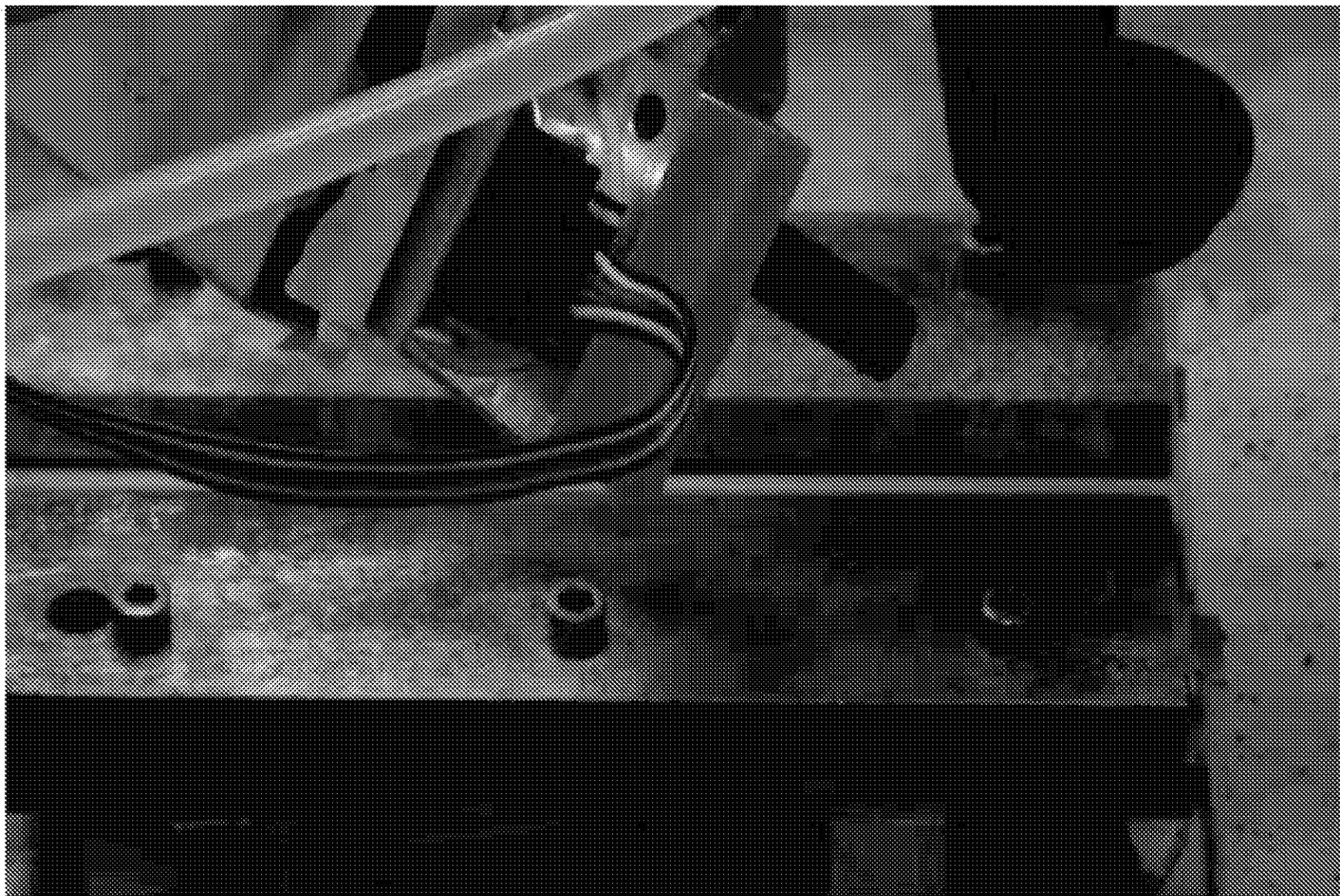
guido.toci@ino.it

www.ino.it



INO-CNR  
ISTITUTO  
NAZIONALE DI  
OTTECA

## Saldatura con laser a CO<sub>2</sub>: il processo



*Clickare per riprodurre il video*

Guido Toci

INO-CNR

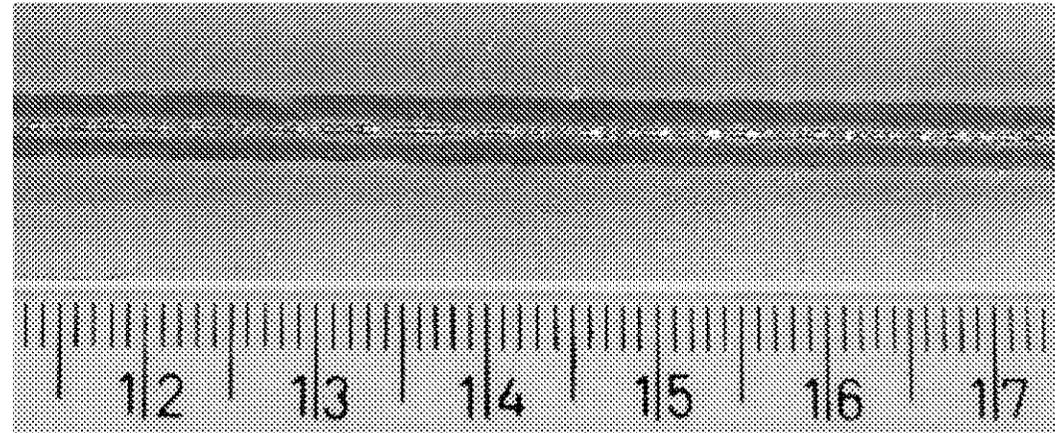
guido.toci@ino.it



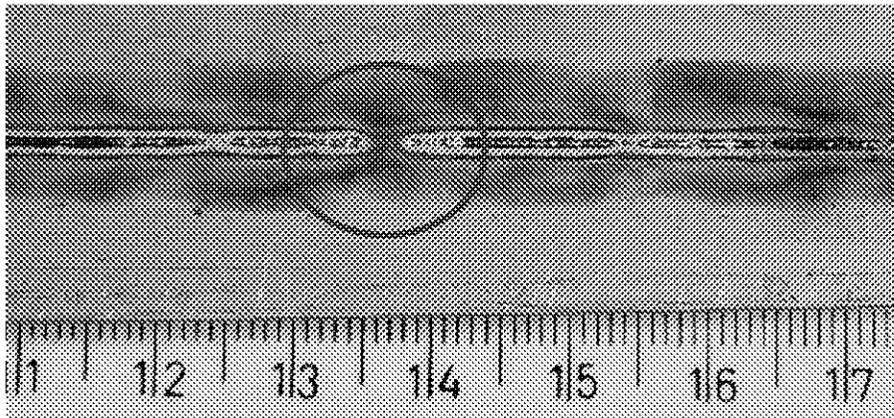
## Parametri critici :

- Potenza del laser
- Velocità di spostamento
- Posizione del fuoco del fascio
- Gap tra le lastre
- Flusso del gas di schermatura

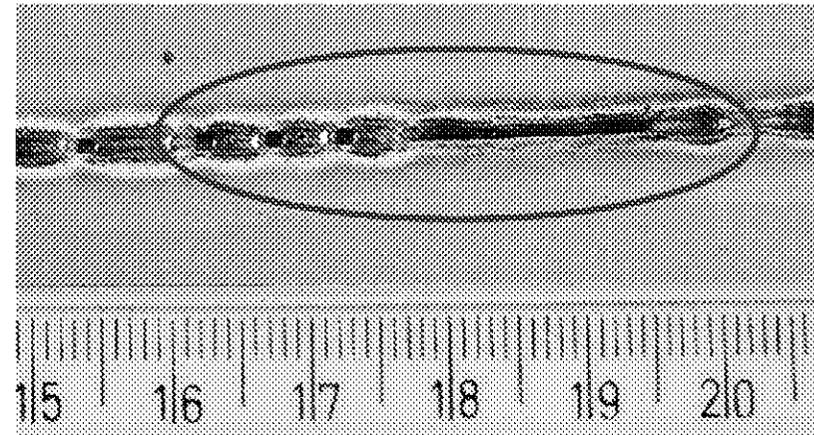
Saldatura ottimale: cordone uniforme e penetrante



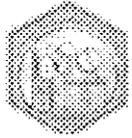
## Difetti tipici



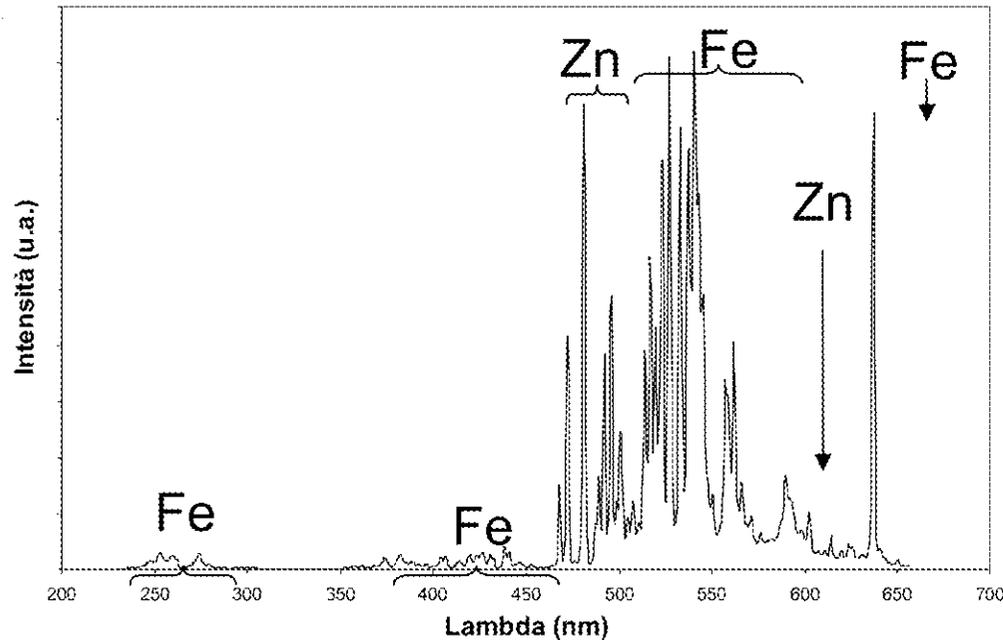
Insufficiente penetrazione  
(mancata giunzione delle lastre)



“Soffiatura” (lacuna nel cordone di giunzione  
per espulsione del materiale fuso)



# Monitoraggio spettroscopico

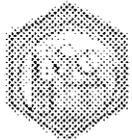


*Spettro di emissione:* intensità della luce emessa, in funzione della lunghezza d'onda

Lo spettro di emissione dipendente da vari parametri fisici e chimici in gioco:

- Concentrazione relativa elementi
- Livello di ionizzazione
- Densità del plasma (riassorbimenti)
- Temperatura del plasma

In linea di principio, lo spettro della luce emessa contiene molte informazioni sui parametri del processo

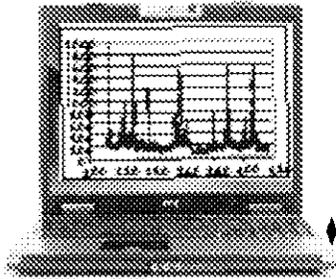


INO-CNR  
ISTITUTO NAZIONALE  
DI OTTICA

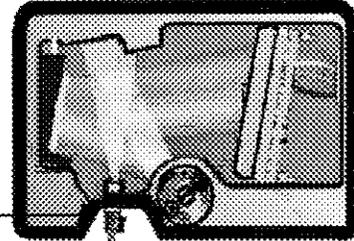
# Allestimento sperimentale



Sistema spettroscopico



Registrazione dati



## Sistema spettroscopico:

Spettrometro a reticolo

rivelatore CCD 3000 canali

Digitalizzazione 12 bit

risoluzione spettrale 0,6 nm

banda spettrale 250 – 650 nm

Velocità acquisizione spettri : 25 spettri/sec

Accoppiato a fibra ottica (testa della fibra alloggiata nell'ugello del gas di schermatura)

Fibra ottica



Ugello gas schermatura  
e testa fibra ottica

Lastre

Foto Ing. Cisi

## Sistema laser :

Laser a CO<sub>2</sub> El.En. Potenza max 2 kW

Ottiche focheggiamento **CRF**, f= 200 mm

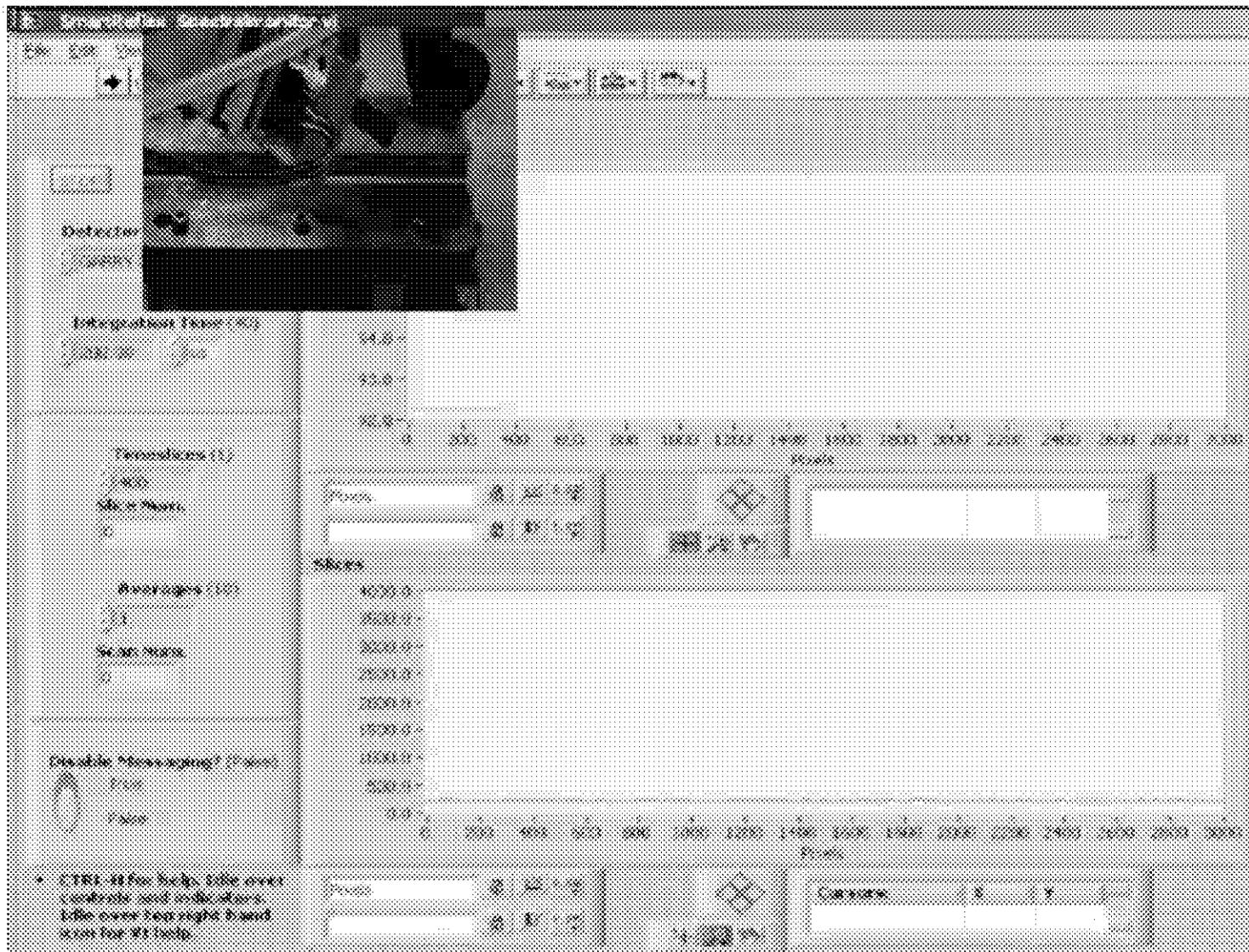
Gas di assistenza al processo : N<sub>2</sub>

Velocità pezzo: 1-2 metri/min.

Provini: lamierino di acciaio zincato tipo FEP 04, spessore 0,7 mm



# Monitoraggio spettroscopico



*Cliccare per riprodurre il video*



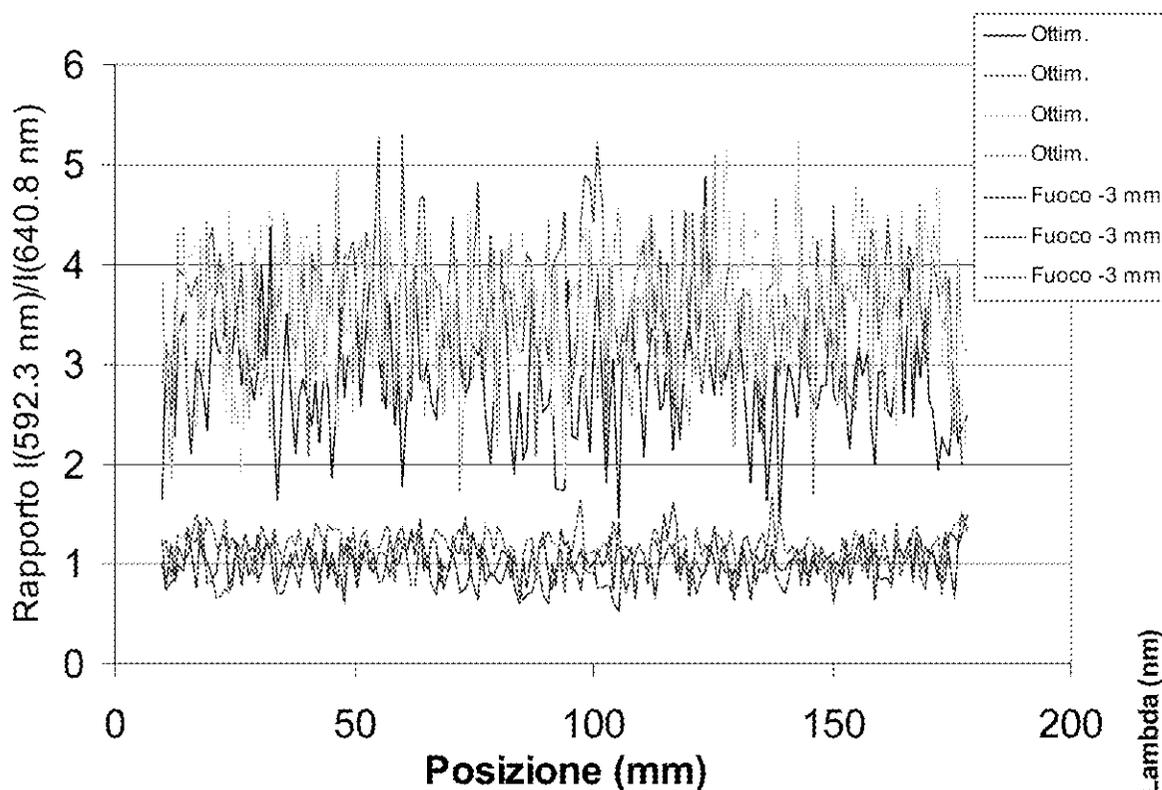
## Estrazione delle informazioni:

In mancanza di un **modello** che lega il processo di saldatura e l'emissione del plasma, si procede per via fenomenologica, senza ipotesi a priori sulle relazioni tra spettro di emissione e caratteristiche del processo:

- 1) Acquisizione spettri ottenuti in condizioni di processo **ottimizzate**
- 2) Acquisizione spettri ottenuti con **alterazioni controllate** dei parametri, che possono indurre difetti, es:
  - Potenza laser
  - Velocità avanzamento
  - Gap tra le lastre
  - Laser fuori fuoco
  - Flusso gas schermatura
- 3) Analisi sistematica degli spettri per individuare le caratteristiche associate alle anomalie
- 4) Metodo di calcolo: rapporti di intensità del segnale a varie lunghezze d'onda

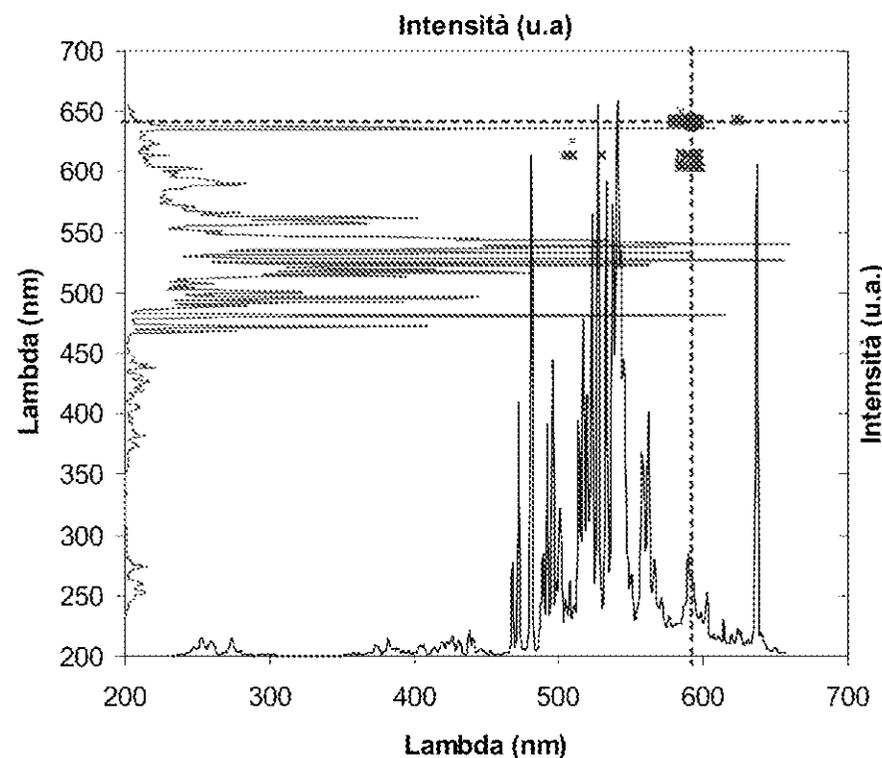


## Esempio: discriminazione del fuori fuoco



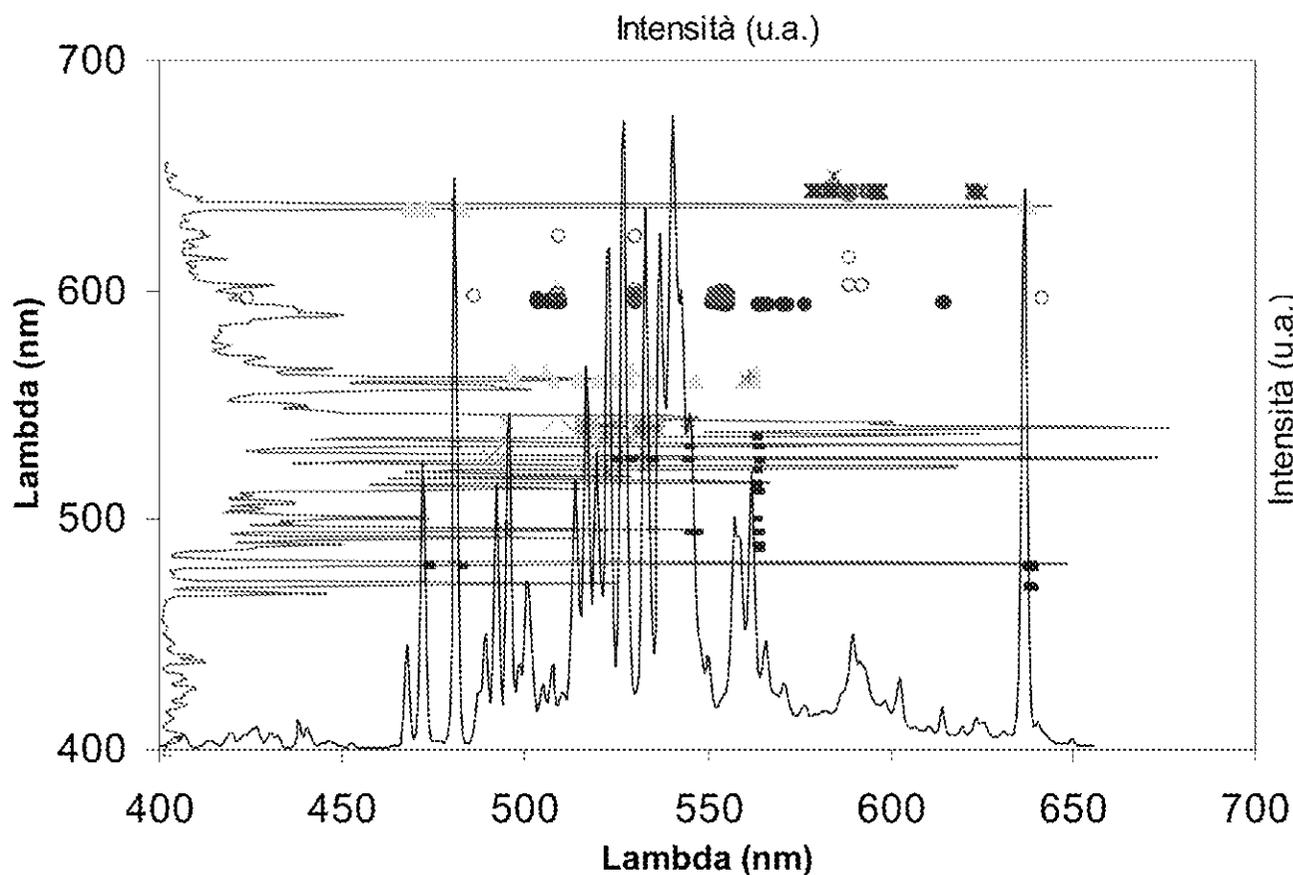
Rapporto segnale a 592.3 nm / segnale a 640.8 nm,  
Condizioni ottimizzate vs. fuori fuoco -3 mm

Altre condizioni: potenza 2 kW, velocità 1,3 m/min.,  
gas schermatura N<sub>2</sub> 5 lt/min, gap 0,2 mm





## Posizione delle coppie di canali utili



### Scostamento

Fuoco + 3 mm

Fuoco + 5 mm

Fuoco -3 mm

Gap 0.5 mm

No gas scherm.

V +0.7 m/min

V -0.6 m/min

Gas scherm. 3 l/min.

Gas scherm. 1 l/min.

P 1.3 kW

### Selettività

\*\*\*

\*\*\*

\*\*\*

\*\*

\*\*

\*\*

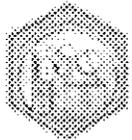
\*

\*

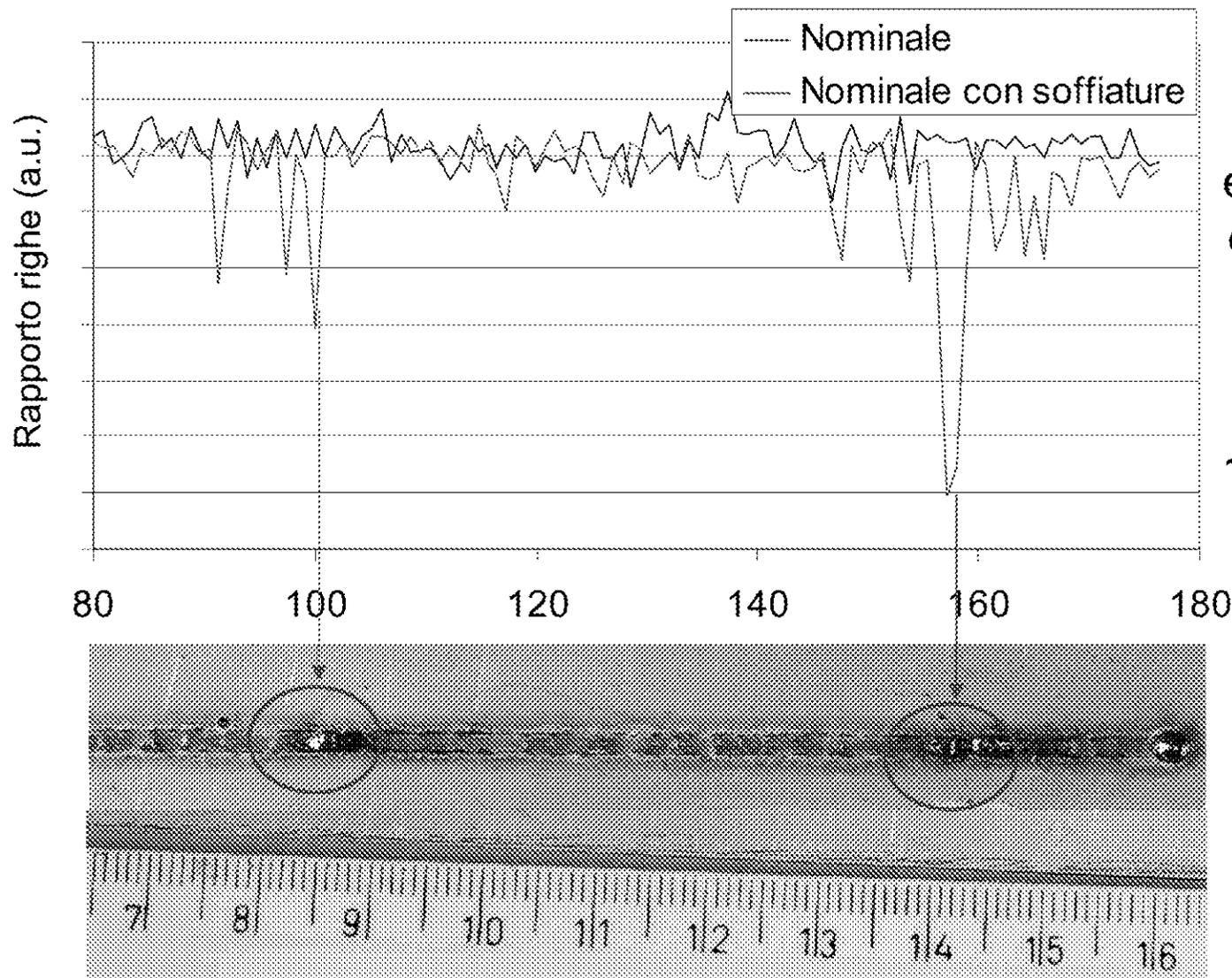
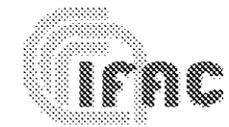
\*

\*

- Gap 0.5 mm
- Fuoco + 3 mm
- Fuoco +5 mm
- × Gap 0 mm
- + V +0.7 m/min
- \* No gas
- \* Fuoco - 3 mm



# Individuazione difetti localizzati

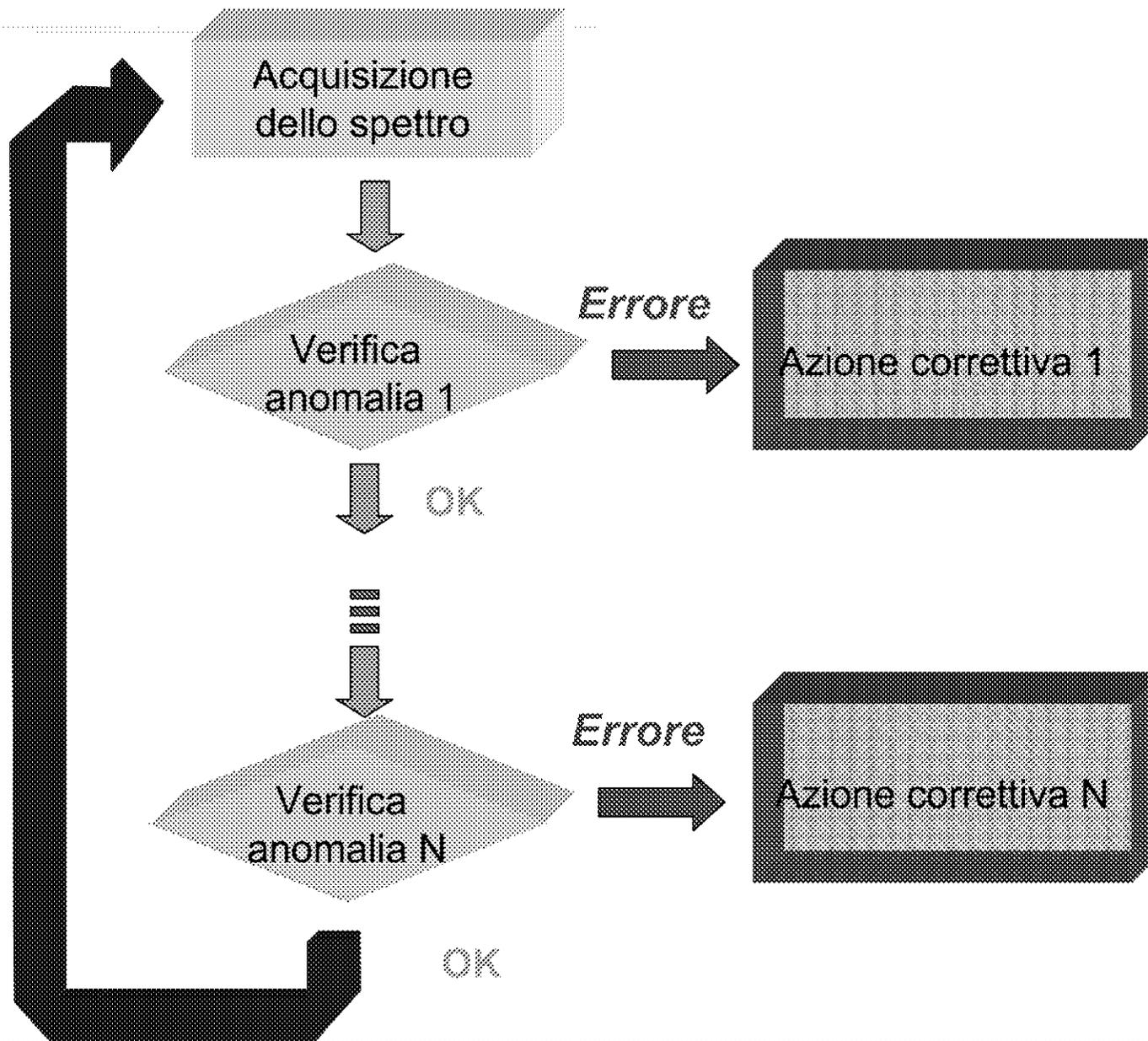


Esempio: saldatura  
effettuata in condizioni  
ottimali, con soffiature  
localizzate

Risoluzione spaziale  
~0.9 mm @ 1.3 m/min



# Monitoraggio del processo





# Ricapitolando...



- 1) Il metodo di monitoraggio si basa sull'analisi dell'emissione di luce durante la saldatura (spettroscopia)
- 2) E' in due fasi:
  - **apprendimento** (acquisizione dei segnali con anomalie di processo controllate) ed **analisi** per l'estrazione dell'informazione
  - **monitoraggio del processo** vero e proprio (usando le informazioni precedentemente acquisite)
- 3) Fornisce informazioni non solo sulla **presenza** del difetto, ma anche sulla **causa** che lo ha provocato
- 4) Ha tempi di risposta rapidi (individuazione precoce delle anomalie)
- 5) L'informazione può essere usata per **correggere in tempo reale** l'anomalia, minimizzando la difettosità (feedback al sistema di saldatura).

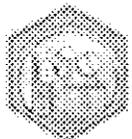


## *Altre applicazioni*



Lavorazioni e costruzioni meccaniche in cui siano coinvolti processi di saldatura

- 1) Saldatura laser su altre tipologie di materiali (es. leghe di alluminio)
- 2) Altre tecnologie di saldatura, purchè accompagnate da emissione luminosa dovuta la plasma (es. saldatura ad arco)



INO-CNR  
ISTITUTO NAZIONALE  
RISERCHE OTTICHE

# Settori di collaborazione con imprese



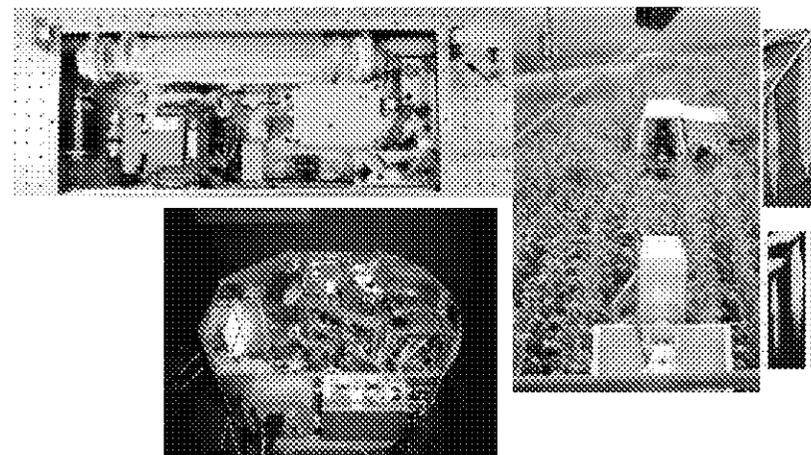
*Ricerca industriale, trasferimento tecnologico, certificazione*

## Sviluppo di strumentazione ottica

Spettrometri passivi

Spettrometri laser per misure di gas in tracce

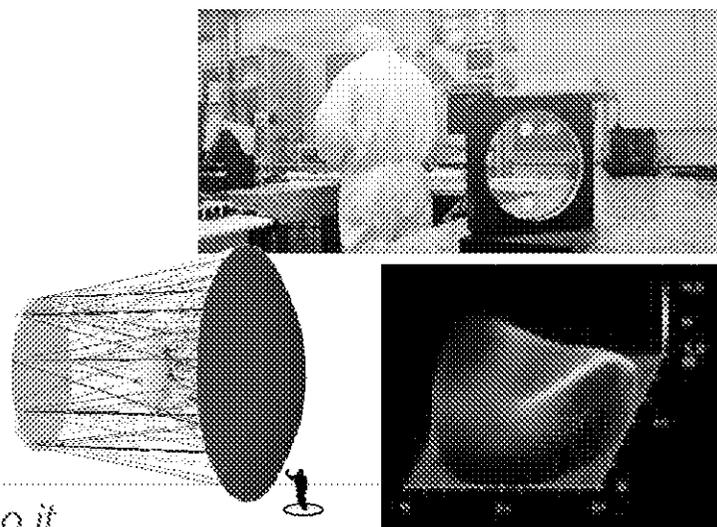
Sensori per misure remote (LIDAR)



## Progettazione e test di sistemi ottici

Calibrazioni fotometriche e radiometriche

Test di qualità su superfici ottiche





INO-CNR  
Istituto Nazionale  
di Ottica

# Settori di collaborazione con imprese

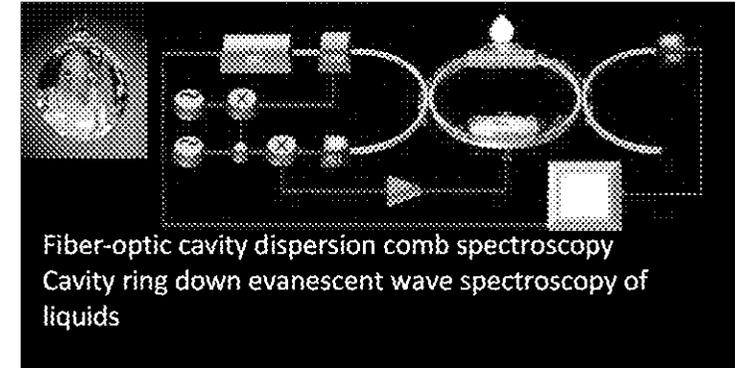


## Sensori per monitoraggio strutturale, test non distruttivi, monitoraggio di processo

Olografia, interferometria

Sensori in fibra ottica per vari parametri fisici  
(temperatura, vibrazioni, stress)

Sensori chimici

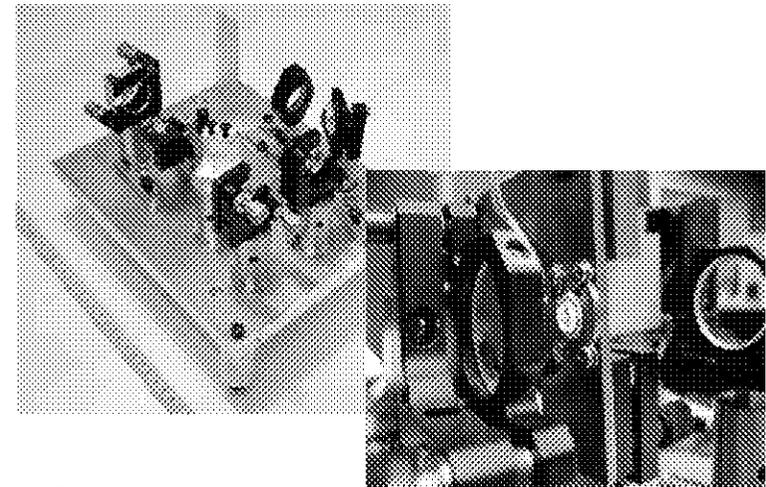


## Sistemi laser per applicazioni industriali, aerospaziali e di monitoraggio

Laser a stato solido

Laser a semiconduttore

Microlaser



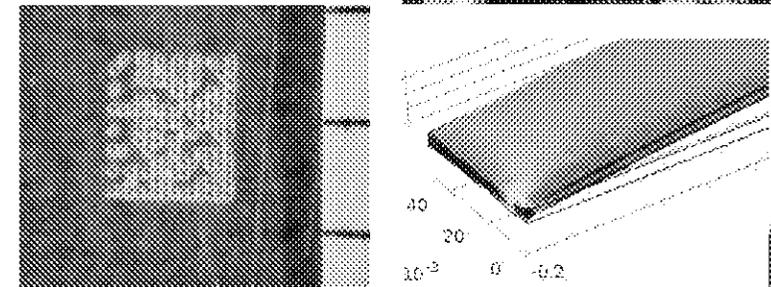
## Analisi e modellistica di processi di trattamento laser

Taglio laser

Micromarcatura

Saldatura

Trattamenti superficiali





INO-CNR  
Istituto Nazionale  
di Ottica



*Grazie per l'attenzione*

Guido Toci

INO-CNR

[guido.toci@ino.it](mailto:guido.toci@ino.it)

[www.ino.it](http://www.ino.it)