

L'impiego del laser di ultima generazione assicura una serie di proprietà particolarmente appropriate per essere applicati nella realizzazione di dispositivi miniaturizzati soprattutto nei settori aerospaziale e automobilistico, medicale e tessile, energetico e delle biotecnologie, della microelettronica e della micromeccanica

Nuove soluzioni nelle microlavorazioni

La necessità di un'elevata miniaturizzazione dei dispositivi impone la ricerca di tecnologie innovative in grado di garantire migliori o nuove funzionalità e di soddisfare le diverse esigenze di lavorazione. Dalla forte espansione di questi ridottissimi sistemi è facile prevedere che il mercato, già in netta crescita, subirà un ulteriore incremento nei più svariati settori, dall'aerospaziale all'automobilistico, dal medicale alle biotecnologie, dalla microelettronica alla micromeccanica, per citarne soltanto alcuni. In tale contesto ben si colloca l'impiego dei laser di ultima generazione che assicurano una serie di proprietà particolarmente appropriate per le applicazioni industriali. Con velocità molto elevate e con un'alta flessibilità nella tipologia di lavorazione, è possibile infatti realizzare microlavorazioni precise e ripetibili su praticamente tutte le tipologie di materiali, compresi i più duri e i più fragili, con fattori di forma, ovvero il rapporto spessore/dimensione, superiori a 100:1 e con tolleranze micrometriche. Un costo di capitale relativamente contenuto e la facile automazione del processo, sono gli altri elementi che rendono questa tecnologia altamente

competitiva e in grado di soddisfare le molteplici esigenze applicative dell'industria.

SORGENTI LASER

Le sorgenti laser tradizionali non sono adatte per le microlavorazioni in quanto non consentono di ottenere quegli impulsi ultrabrevi in grado di assicurare le potenze di picco necessarie per il processo. Negli ultimi anni si è assistito a notevoli miglioramenti dei laser Nd:YAG in regime di Q-Switching pompato a diodi (Diode Pumped Solid State Lasers, DPSS) che, caratterizzati da impulsi di poche decine di nanosecondi, sono in grado di garantire le condizioni operative necessarie per questo tipo di lavorazioni. Ogni impulso rimuove, con precisione e ripetibilità, una piccola quantità di materiale e la produttività è assicurata dall'elevata cadenza degli impulsi, decine di kHz. La lunghezza d'onda fondamentale è nel vicino IR, 1064 nm; il sistema di pompaggio a diodi, in sostituzione di quello a lampade, risulta molto più efficiente ed ha permesso recentemente di ottenere, mediante opportuni dispositivi, potenze e qualità ottiche del fascio adeguate anche in seconda e

terza armonica, rispettivamente nel visibile, 532 nm, e nell'UV, 355 nm.

Si è assistito pertanto all'immissione sul mercato di sorgenti a stato solido di interesse industriale funzionanti nell'UV, radiazione che ha un ottimo accoppiamento con tutti i materiali metallici e ancora di più con i non-metalli, quali ad esempio silicio, vetro, polimeri, ceramici. Esistono inoltre laser di ultima generazione nel regime a femtosecondi (10^{-15} s), che non riescono però ad essere ancora competitivi in termini di costi e di potenza.

PRINCIPI DEL PROCESSO

Nel termine microlavorazioni si includono lavorazioni quali ablazione, foratura, taglio, modifiche di strutture, le cui dimensioni non superano generalmente le decine di micron e le cui tolleranze risultano comunque inferiori a pochi micron.

Esaminando singolarmente le lavorazioni si fa osservare che l'ablazione consiste in una rimozione di materiale che può avvenire sia mediante vaporizzazione, ottenibile con elevate densità di potenza, sia mediante espulsione di materiale fuso sotto forma di particelle in conseguenza delle enormi

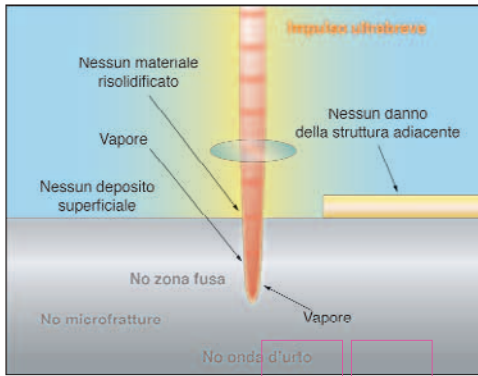


Figura 1. Ablazione ideale.

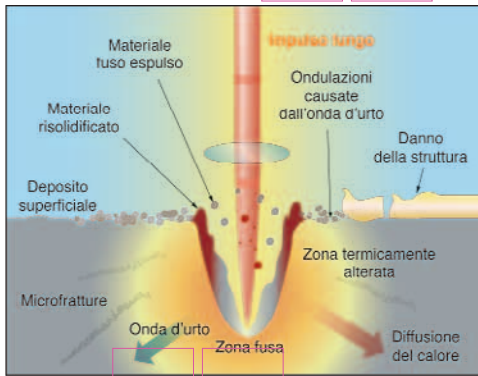


Figura 2. Ablazione termica.

'corona'. L'energia laser che si disperde in profondità tende ad alterare termicamente il materiale, generando degli stress di tipo termico che possono indurre delle micro-cricche. Il fenomeno, tipico nel caso di impiego di laser tradizionali, è denominato ablazione termica ed è schematicamente rappresentato in figura 2.

Per quanto riguarda il processo di foratura, questo può avvenire secondo tre differenti modalità, come mostrato in figura 3: a percussione (le dimen-

assisto ad un costante incremento di interesse e di casi applicativi.

Aeronautico e automobilistico

Tra questi vi è sicuramente l'aeronautico, in cui riveste un notevole importanza la microforatura sulle pale delle turbine e sulle ali degli aerei dove serve a migliorare l'aderenza del fluido al profilo dell'oggetto. L'applicazione del laser risulta vincente sia perché il materiale ha caratteristiche metallurgiche tali da rendere impraticabile la foratu-

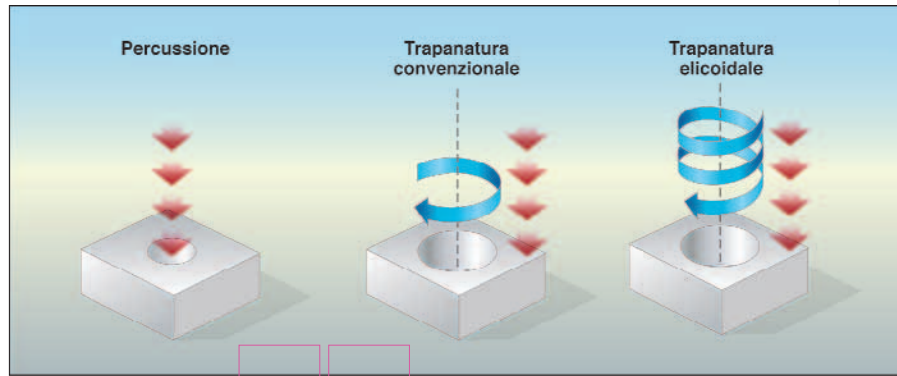


Figura 3. Rappresentazione schematica dei processi di foratura laser.

pressioni che si sviluppano.

Nel caso di ablazione con impulsi ultrabrevi, cioè di durata temporale inferiore ad 1 picosecondo, la radiazione laser provoca l'istantanea vaporizzazione del materiale: il processo di ablazione ha inizio ad impulso terminato, il che significa che non c'è interazione tra la radiazione laser e il materiale espulso che è sotto forma di plasma a causa delle elevatissime intensità raggiunte. Il calore non ha il tempo sufficiente per penetrare in profondità, per cui non si genera alcuno strato di liquido e la superficie risulta pulita: questo tipo di ablazione ideale, visibile in figura 1, è definita 'fredda', non genera zone termicamente alterate o cricche sulle pareti e garantisce un'elevata ripetibilità.

Nel caso di ablazione con impulsi lunghi, cioè di durata temporale superiore ad 1 nanosecondo, il processo di ablazione ha inizio quando il materiale raggiunge la soglia di vaporizzazione, il che significa che il calore ha il tempo sufficiente per diffondere internamente e per formare, tra il fronte di vapore e il materiale solido, uno strato di liquido che, espulso dalle forti pressioni, risolidifica in superficie e crea l'effetto

sioni del foro dipendono da quelle dello spot che sono fisse), a trapanatura convenzionale (lo spot focale disegna un cammino circolare di dimensioni opportune e la penetrazione avviene con una singola passata), a trapanatura elicoidale (lo spot focale disegna un cammino circolare di dimensioni opportune ma necessitano diverse passate).

A seconda della tipologia di laser e dell'applicazione è conveniente l'una o l'altra tecnica.

Il processo di taglio, infine, è analogo alla foratura: il cammino dello spot focale, opportunamente programmato, consente di effettuare la lavorazione del materiale con una singola passata o con passate successive.

SETTORI APPLICATIVI

Anche se le microlavorazioni laser contano ormai innumerevoli applicazioni per cui è difficile effettuare un'analisi completa, cercheremo di offrirne una sintetica panoramica suddividendole in base ai settori in cui si è

ra meccanica sia perché un elevatissimo numero di fori non è realizzabile in modo conveniente con processi lenti quali quelli tradizionali (Electro Chemical Machining, ECM, e Electro Discharge Machining, EDM).

Nel settore automobilistico un'applicazione di rilievo è la foratura degli iniettori diesel, tradizionalmente realizzata mediante elettroerosione, tecnica con la quale è impossibile scendere a valori dimensionali inferiori ai 200 µm. Per ottimizzare il processo di combustione necessitano, però, fori più piccoli: l'impiego del laser consente di ottenere dimensioni variabili tra 75 e 80 µm ma può arrivare fino ai 50 µm. Altro settore in cui il laser si presenta come una tecnologia particolar-

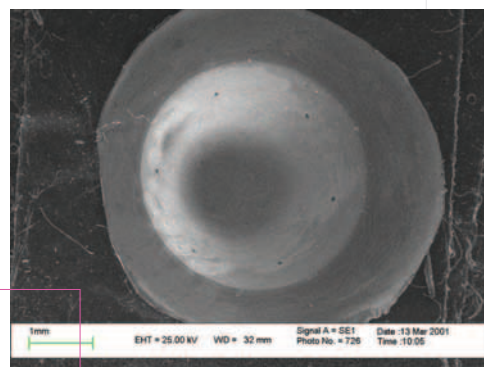


Figura 4. Foratura di iniettori.

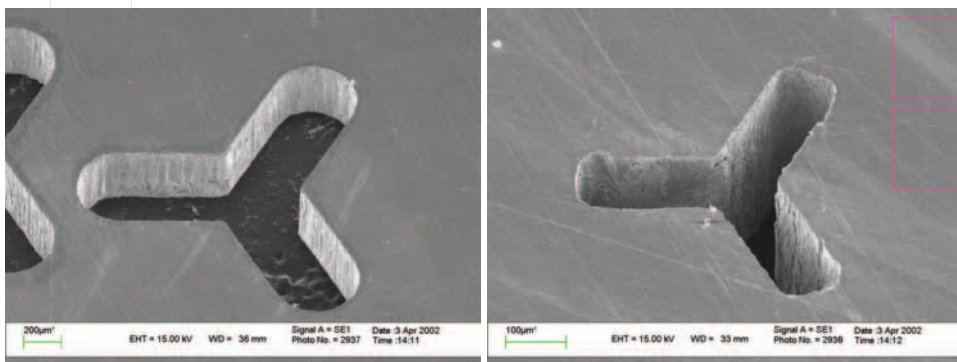


Figura 5. Foratura non circolare: bracci di 0,4 mm su 0,4 mm di spessore (sinistra), bracci di 0,1 mm su 1 mm di spessore (destra).

visibile in figura 5, su substrati in carburo di tungsteno di 0,4-1 mm di spessore e con un tempo di esecuzione totale che può arrivare indicativamente intorno ai 60 s.

Microelettronica

Risvolti importanti per la microelettronica ha poi la lavorazione del silicio, materiale che gioca un ruolo fondamentale nella produzione di dispositi-

mente competitiva è quello della produzione di filtri, metallici e non, campo estremamente ampio e con molteplici possibilità applicative (valvole, regolatori di flusso, setti porosi, ecc.), in cui può essere richiesta l'esecuzione di fori su materiali quali metalli duri, materiali ceramici e così via, le cui caratteristiche sono spesso incompatibili con le lavorazioni consuete. A titolo indicativo la realizzazione di un filtro con 600 fori di diametro 30 µm e passo 100 µm su acciaio di spessore 0,4 mm

aghi in ambito medicale. Nel primo caso il laser risulta particolarmente adatto per l'ottenimento di 'goccioline' di dimensioni micrometriche atte a migliorare l'omogeneizzazione della 'nebbia', mediamente fori di 5 µm con un tempo di lavoro di 100 ms a foro. Nel secondo caso sono state eseguite serie di prove su aghi di siringa di diverso spessore con variabilità dimensionale dei fori da 50 µm a 300 µm. Per un foro piccolo il tempo di lavoro è di circa 0,3 s, mentre per uno più grande è intorno ad 1-2 secondi.

In linea generale su spessori dell'ordine del millimetro è possibile realizzare

Figura 6. Asole su silicio.

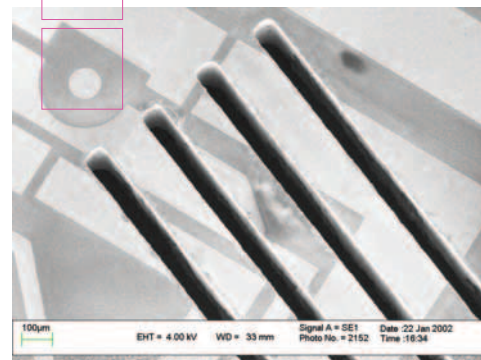
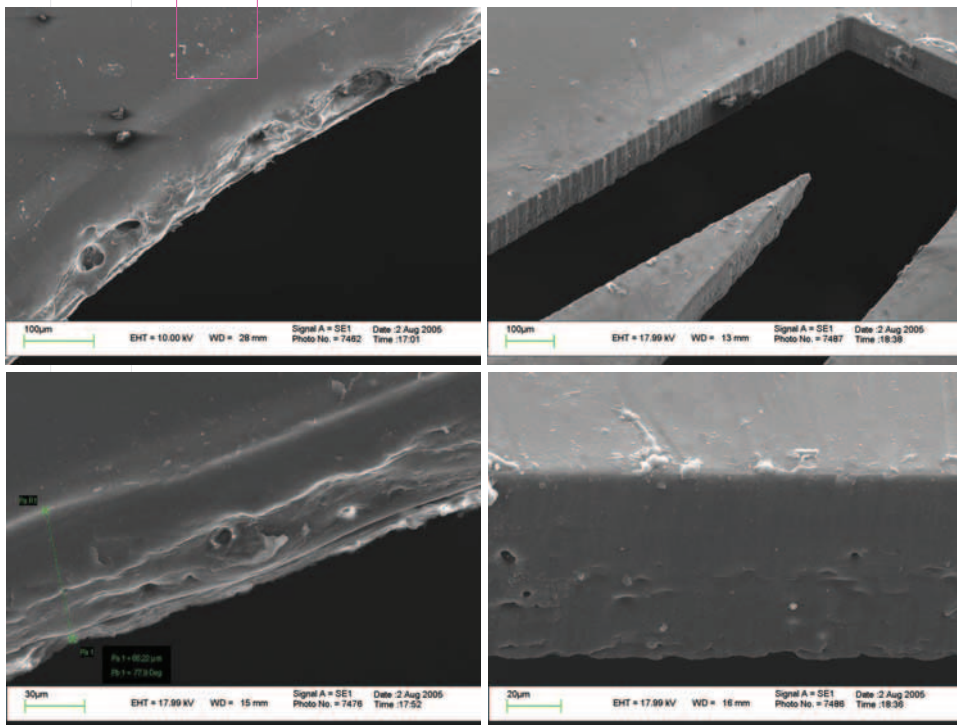


Figura 7. Lavorazioni laser su circuiti flessibili.



comporta un tempo di esecuzione singolo inferiore al secondo.

Medicale e tessile

Altri esempi applicativi sono la produzione di nebulizzatori di sostanze medicinali (aerosol) e la foratura degli

fori da 20 µm a 500 µm e oltre con tolleranze di pochi µm.

La realizzazione di trafile è un altro tipo di applicazione che interessa l'industria tessile ma non solo. Si tratta di effettuare delle asole che possono avere dimensioni da 0,1 a 0,4 mm, come

vi, quali ad esempio i microsistemi elettromeccanici, MEMS. Le tecniche convenzionali utilizzate (litografia + etching), ormai ben consolidate, possono però avere dei limiti in termini di forme e geometrie da realizzare. La tecnologia laser permette invece una maggior flessibilità e assicura velocità elevate, elementi che risultano particolarmente significativi nelle lavorazioni 'di bulk', soprattutto quando è interessato tutto lo spessore del wafer, tipicamente intorno ai 600 µm. Le asole, visibili in figura 6, hanno dimensioni 0,15 mm x 4 mm e sono realizzate su un wafer di 0,6 mm di spessore con un tempo di lavoro di 40 s per asola. In questo caso si è utilizzata la lunghezza d'onda di 532 nm poiché viene assorbita in maniera più efficace dal silicio, materiale semiconduttore.

Di rilievo inoltre è la realizzazione di asole per le cartucce delle stampanti a getto di inchiostro e la realizzazione di microvia nei circuiti integrati. Le asole mettono in contatto il serbatoio che contiene l'inchiostro con gli ugelli che spruzzano l'inchiostro stesso mentre i microvia servono per creare interconnessioni elettriche ad alta



densità nei circuiti.

La domanda del mercato dell'elettronica è rivolta a dispositivi sempre più compatti che offrano performance superiori: è necessario realizzare strutture ad alta densità di interconnessioni elettriche.

Esempi di queste strutture sono i circuiti flessibili, i quali stanno via via sostituendo quelli rigidi grazie alla piccola dimensione, al peso leggero e alla flessibilità. I campi di applicazione sono i più svariati, dalle telecomunicazioni alla telefonia, dai display ai PC. Grazie a potenze ormai compatibili con le esigenze industriali i laser UV DPSS sono diventati i migliori candidati per la foratura e il taglio dei circuiti i cui elementi base, in rame e kapton, interagiscono bene con la lunghezza d'onda che li caratterizza. Sorgenti più tradizionali infatti, a causa dell'alta riflettività del rame, non agiscono in maniera ottimale, danneggiano termicamente il kapton e non consentono di raggiungere le dimensioni di spot desiderate: per esempio microvia di dimensioni inferiori a $50\ \mu\text{m}$ possono es-

sere realizzati esclusivamente con questa tipologia di laser.

A conferma, in figura 7 è visibile una comparazione tra il taglio di kapton con Nd:YAG in lunghezza d'onda fondamentale, 1064 nm, e quello in terza armonica, 355 nm. Si noti che, mentre nel primo caso la zona termicamente alterata raggiunge una profondità di $100\ \mu\text{m}$, nel secondo il materiale appare praticamente esente da danneggiamenti, a conferma dell'efficace accoppiamento laser-materia.

La possibilità di lavorare un'ampia gamma di materiali, unita all'elevata produttività, rende il laser idoneo per alcune applicazioni speciali quali la realizzazione di microstrutturazioni superficiali a cui si ricorre per modificare le proprietà in uno strato di qualche centinaia di micron.

Energetico e medicale

Per esempio, per il settore energetico sono state realizzate alcune microstrutture su materiale composito, fibre di carbonio su matrice ceramica, con lo scopo di aumentare la bagnabilità

del rame fuso nel successivo processo di brasatura. La profondità dell'incisione è di $0,5\ \text{mm}$ mentre la larghezza

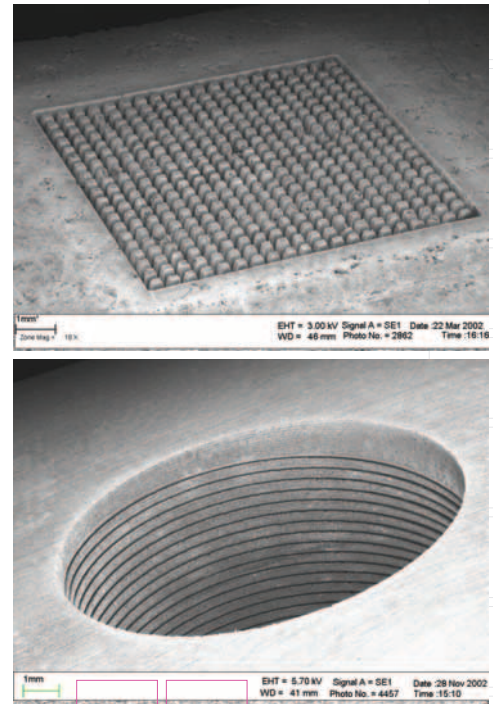


Figura 8. Microstrutture 3D su materiale composito.

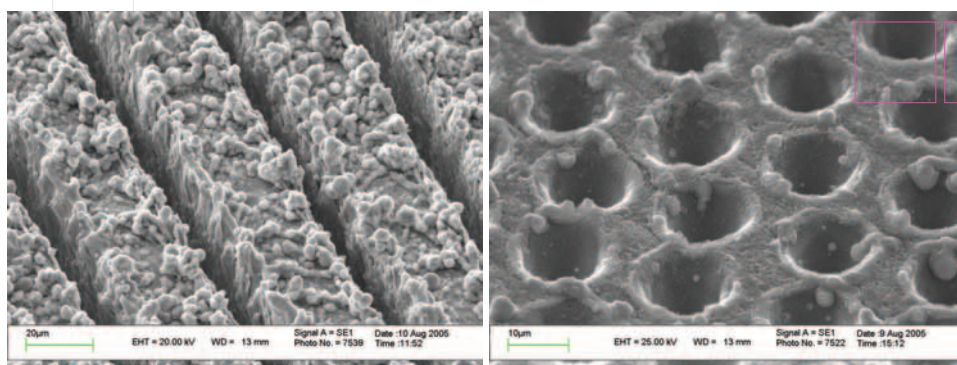


Figura 9. Microstrutturazioni superficiali su titanio.

tro di 0,55 mm, l'ultima a destra rappresenta invece un'asola di 0,2 mm di larghezza e 8 mm di lunghezza, realizzata su uno spessore di 0,8 mm per un'applicazione MEMS in campo medicale.

Tra ricerca e mercato

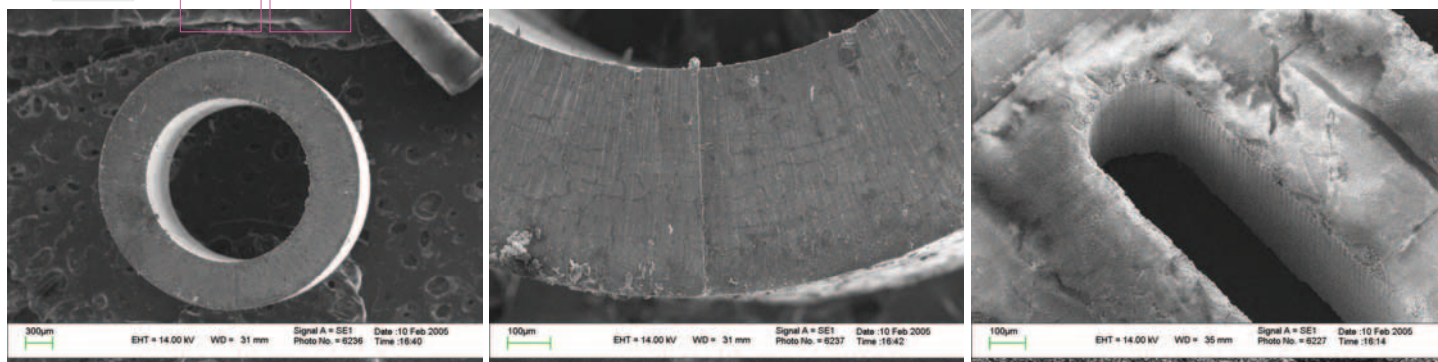
RTM ha vissuto in questi ultimi anni profondi cambiamenti sia per quanto riguarda l'azionariato, la cui composizione ha visto la graduale scomparsa dei soci storici e l'ingresso di nuovi enti istituzionali e imprese, sia per quanto riguarda le tipologie di attività svolte. Si è assistito a rinnovamenti sostanziali nella struttura fondata nel 1965 come centro di ricerca applicata che, a partire dal 1978, ha visto la sua attività incentrarsi sulla tecnologia laser e le sue applicazioni, settore nel quale si è creata un know-how praticamente unico. Se l'attività di ricerca è stata per un lungo periodo quella dominante, recentemente si è dato avvio a un nuovo corso e oggi, dopo una ristrutturazione interna, l'azienda opera in tre diverse, anche se spesso complementari, direzioni: progettazione e realizzazione di sistemi laser industriali, lavorazioni conto/terzi, ricerca applicata.

è di 0,25 mm.

Altri esempi sono rappresentati dalla realizzazione di strutture 3 D su materiale composito costituito da fibre di carbonio in matrice di carbonio, figura 8, e da microsolchi su titanio. In figura

più recenti citiamo quelle sul vetro, materiale che a causa delle sue proprietà quali trasparenza alla radiazione ed elevata fragilità, risulta particolarmente difficile da lavorare ma ampiamente utilizzato nella realizzazione di dispositivi di ultima generazione in campo medicale (MEMS, sensori,

Figura 10. Microlavorazioni su vetro.



9 un esempio di quest'ultima applicazione con solchi di 10 µm di larghezza e 20 µm di profondità e microfori di 10 µm di diametro e 10 µm di profondità. La lavorazione microstrutturale del titanio trova vasti campi applicativi anche in ambito medicale, per esempio nelle viterie utilizzate nelle protesi o in odontoiatria, dove favorisce la biocompatibilità. Infine tra le applicazioni

ecc.). Con una sorgente caratterizzata da breve durata temporale e corta lunghezza d'onda si garantiscono le condizioni ottimali per le microlavorazioni laser.

Le prime due foto di figura 10 si riferiscono al taglio laser di elettrodi a vetro per sensori elettrochimici e mostrano la sezione di un tubicino di 3 mm di diametro con uno spessore parete ve-

strato di pochi micron variandone le caratteristiche, esempio tipico la modifica della rugosità in componenti di titanio per favorire la biocompatibilità.

Cristina Rivela ed Enrico Gallus svolgono la loro attività presso RTM.

readerservice.it.n.33