

Il taglio laser di elettrodi per la fabbricazione di BATTERIE

POTENZIALITÀ E ASPETTI CRITICI DI UN AMBITO CHE SI PROSPETTA SEMPRE PIÙ CENTRALE NEL PROSSIMO FUTURO, SPECIE SE COLLEGATO AL SETTORE DELL'E-MOBILITY

Il mercato relativo alla mobilità elettrica (EVs) si presenta come uno dei più dinamici nel prossimo futuro. Diverse stime di crescita pongono, infatti, il mercato annesso alla fabbricazione di prodotti EVs come uno di quelli in cui sono attesi i maggiori trend di crescita. A tal proposito, si riporta la figura 1 in cui c'è una previsione relativamente alla produzione delle sole batterie per uso automobilistico e la relativa capacità produttiva necessaria a soddisfare tale richiesta, in termini di Gigawattora per anno, in cui si evince una stima di crescita di circa un ordine di grandezza in un decennio.¹

È chiaro che per soddisfare un'aspettativa di crescita così dirompente è richiesto un salto tecnologico enorme in termini di processi di fabbricazione in grado di produrre altissimi volumi di componenti

con elevati requisiti qualitativi. Tra i processi tecnologici a disposizione, e in grado di soddisfare le suddette esigenze di mercato, ricoprono un ruolo fondamentale i processi laser. Ci sono studi, ad esempio, che stimano come i processi di fabbricazione laser (LMP) copriranno tra il 60-80% di tutti i processi di fabbricazione utilizzati nella fabbricazione di batterie e componenti e-mobility.² Tra questi processi ricopre un ruolo sicuramente primario il processo di taglio laser.

Un esempio concreto

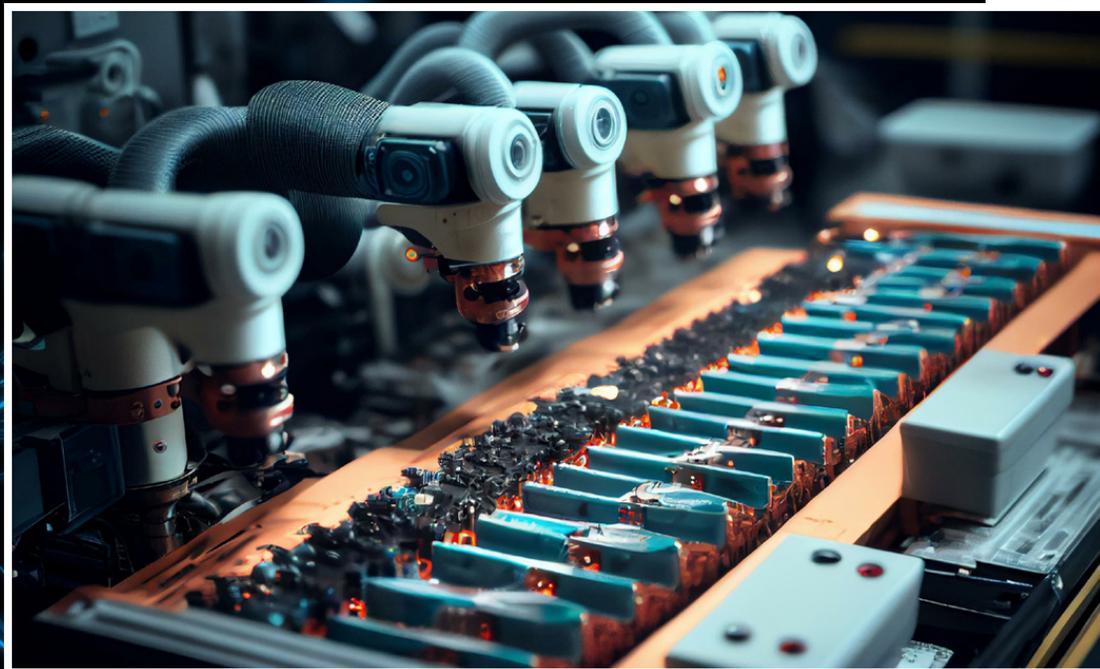
Per meglio comprendere l'importanza di tale processo, possiamo prendere in considerazione una cella cilindrica 4680 il cui interno è costituito da diverse decine metri di foils di alluminio e rame, rivestiti dai rispettivi coatings, separati da un separatore.

I suddetti foils, dallo spessore variabile che va da qualche micron a qualche decina di micron, prima di essere arrotolati e inseriti nei contenitori cilindrici sono soggetti a diversi tagli che oggi giorno, per via dei volumi produttivi, tutte le case produttrici vengono effettuati con sorgenti laser.

¹ https://www.ipcei-batteries.eu/fileadmin/Images/accompanying-research/market-updates/2022-01-BZF_Kurzinfo_Marktanalyse_Q4_ENG.pdf

² Kogel-Hollacher M., "The full potential of photonics in e-mobility: an overview", The Laser User Magazine 2020

³ <https://www.dmove.it/news/tesla-celle-batterie-4680-model-y>



Per dare un'idea della produttività richiesta dal mercato, recentemente Tesla ha annunciato di essere in grado di produrre quasi 900.000 batterie cilindriche a settimana, della tipologia 4680, che si traducono, in caso di produzione di 7 giorni su 7 e h24, in 1,5 batterie al secondo per una velocità di taglio di diversi metri al secondo,³ sia sul foils di rame che su quello di alluminio.

Le performance richieste ai sistemi di taglio elettrodo laser non sono solo relative alla capacità di realizzare elevati volumi produttivi ma sono anche relative a garantire le massime qualità, ovvero minime zone termicamente alterate, nel bordo lamiera, e presenza di bave di risolidificazione. A tal proposito, si riportano le Figure 2 e 3 in cui, visivamente, si mettono a confronto tagli privi di difetti e tagli con presenza di diverse tipologie di difetti.

La scelta dell'impianto e dei parametri

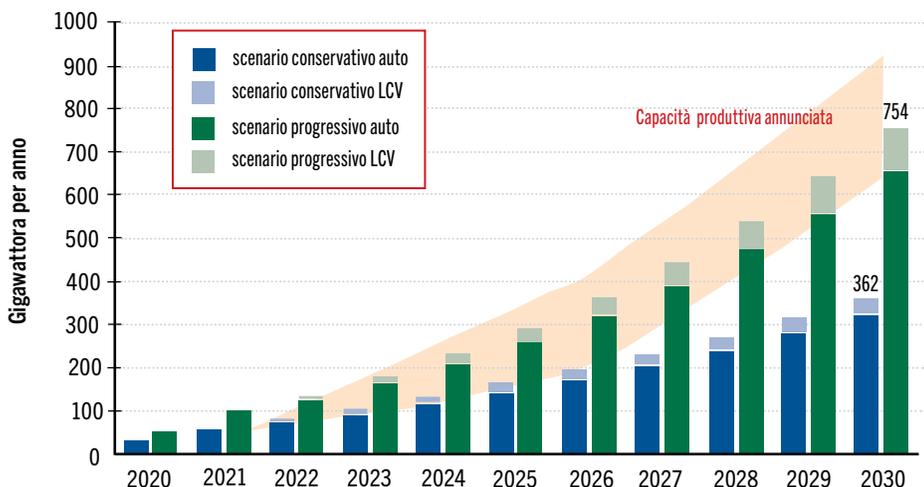
Se l'utensile laser ha sulla carta le capacità produttive e qualitative richieste dal mercato, molto più complesso è invece il lavoro relativo alla scelta del corretto im-

pianto e, scelto l'impianto, la successiva definizione dei parametri tecnologici che mettano assieme le velocità e le qualità richieste. Oggigiorno, esiste una grande varietà di scelta tra le sorgenti, sia in termini di potenza di disponibile che in termini di modalità di funzionamento (pulsato e continuo) che di distribuzione dell'intensità del fascio, in grado di soddisfare i requisiti richiesti. Discorso diverso, invece, se si parla di modalità di movimentazione del fascio che, viste le velocità in gioco, è ad appannaggio esclusivo di teste scanner. Per entrare nello specifico, in questo articolo ci riferiamo esclusivamente al taglio di foil "nudi" ovvero non rivestiti da coating attivi, sia per quanto riguarda il catodo che l'anodo.

Sorgenti e ottiche

Per via sia delle potenze in gioco, dei diametri di focalizzazione e dei rendimenti energetici, le sorgenti utilizzate sono caratterizzate da lunghezze d'onda near-IR (1,06 micron), sia per funzionamenti a impulsi che in continua. In generale, la scelta di una modalità di taglio a impulsi (PW) è dettata dall'avere possibilità di

Figura 1 - Previsione della domanda nel modo e-mobility



Estrapolazione della domanda di celle per batterie in uno scenario conservativo (blue) e progressivo (verde). Capacità di produzione europea prevista come intervallo di confidenza (arancione).

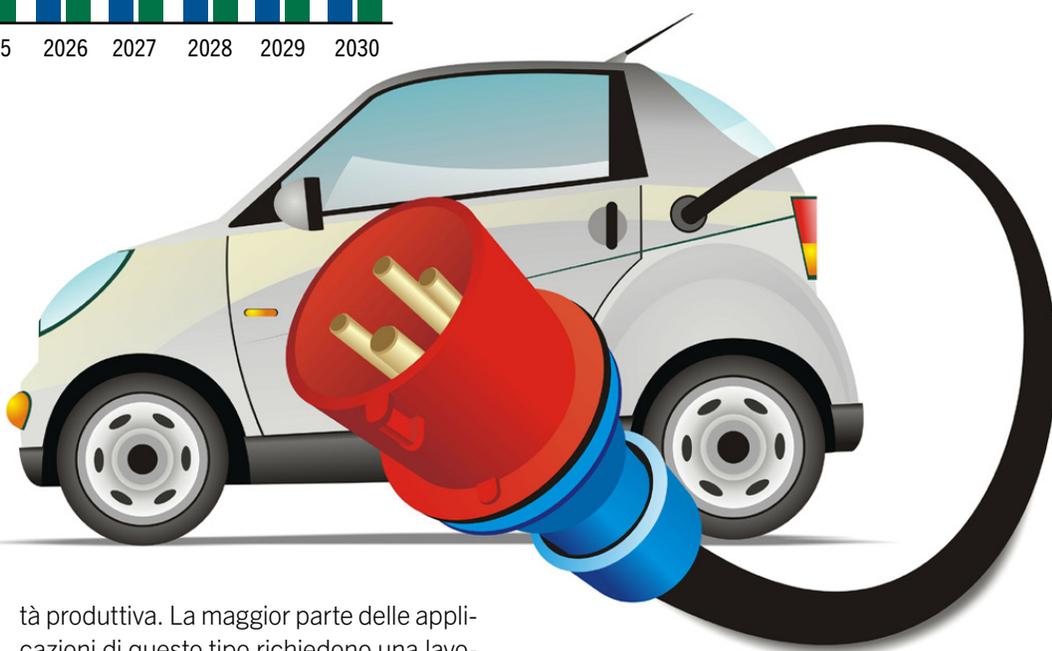
“ Tesla ha annunciato di essere in grado di produrre quasi **900 mila batterie cilindriche** a settimana, della **tipologia 4680**, che si traducono in **1,5 batterie al secondo** ”

lavorare a velocità di taglio più basse e/o spessori più limitati. Per contro, un funzionamento PW comporta un taglio con meno difetti (zone termicamente alterate e/o bruciature, ecc.) poiché caratterizzato da un trasferimento di energia ai lembi tagliati più contenuto.

La scelta di una modalità di funzionamento in continua (CW) è invece preferibile qualora le velocità di taglio richieste siano molto elevate (fino a diverse decine di metri al secondo) e/o spessori maggiori. Sia per una modalità PW che CW sono da prediligere fibre di trasporto dal minimo diametro possibile, distribuzioni il più possibile gaussiane e BPP piccoli (anche minore di 1). Relativamente alle ottiche di focalizzazione, in relazione alle dimensioni delle aree di lavoro (aree e percorsi di taglio), è da prediligere una lente di focalizzazione e di collimazione che diano gli spot più piccoli possibile.

Teste di scansione

Le velocità di processo richieste dal numero di batterie che deve essere prodotto, in relazione al mercato automotive, limita la movimentazione del fascio a solo teste scanner. Modalità di movimentazione con testa fissa, infatti, non riuscendo a soddisfare i volumi produttivi più elevati sono limitati a sistemi di bassa capaci-



tà produttiva. La maggior parte delle applicazioni di questo tipo richiedono una lavorazione di taglio “al volo” su nastri metallici che si svolgono con continuità a velocità molto elevate, tipicamente tra 1 e 3 m/s. Questa condizione porta le teste a scansione a dovere lavorare con velocità di taglio di oltre 10 m/s su tratti con lunghezze di pochi millimetri. Ciò comporta accelerazioni degli specchi estremamente elevate, che possono mettere in crisi anche gli hardware più performanti, considerando anche che a volte si richiedono scanner con aperture di 20 mm per implementare sorgenti singolo modo in regime continuo. Tale situazione comporta l'uso di specchi con dimensioni e masse maggiori, che determinano azioni d'inerzia ulteriormente gravose. Oltre all'hardware ottico anche l'elettronica di controllo gioca un ruolo importantissimo nella messa a

punto del processo, in quanto i parametri di sincronizzazione tra moto degli specchi ed emissione della radiazione laser devono essere tarati con precisioni delle decine di microsecondi, in quanto valori troppo conservativi determinano un mancato rispetto dei tempi ciclo della lavorazione, mentre parametri troppo aggressivi non consentono di mantenere la qualità delle traiettorie richieste.

Andamenti qualitativi di taglio

Una volta definite, in funzione della cadenza produttiva e delle aree di lavoro, la tipologia di sorgente, le ottiche e lo scanner inizia la fase di messa a punto del processo, ovvero la definizione dei parametri di taglio in grado di garantire la produttivi-

segue ➤



Definito il perimetro di taglio per il proprio sistema laser, il secondo passo è quello di definire, all'interno di tale perimetro, le aree di massima qualità che, come detto in precedenza, consistono in un taglio con minime/nulle zone termicamente alterate e assenza completa di bave di risolidificazione, vedi Figura 3. A tal proposito, in Figura 6 si riporta la mappa del processo ottimale nel taglio in remoto di un film di rame, eseguito con laser in continua e distribuzione gaussiana del fascio. In tale figura si vede come, superata la condizione di taglio, ovvero definita potenza minima che permetta la separazione del foil per una certa velocità (linea NO-CUT), la finestra operativa ottimale è delimitata dall'asintoto verticale (BURNS+DROPS) e la retta (BURNS).

Tale mappa ci dice che, per velocità basse (< 4m/s), un eccesso di potenza porta a un taglio in cui i lembi sono caratterizzati dalla presenza congiunta di bruciature (BURNS) e risolidificazioni, solitamente con forma sferica, (DROPS). Al contrario, potenze eccessive, selezionate in caso di velocità di taglio elevate (>20 m/s), portano alla sola presenza di lembi di taglio bruciati. Combinazioni di potenza e velocità, per medesimi spessori e composizione chimica dei foil presi in considerazione in questa campagna sperimentale, porta a lembi tagliati e privi di difetto, come mostrati in Figura 2.

“ La scelta dei parametri deve essere fatta anche in ottica di **sostenibilità** di processo, inteso come risparmio di **materia prima** consumata per vaporizzazione durante l'interazione **laser-materia** ”

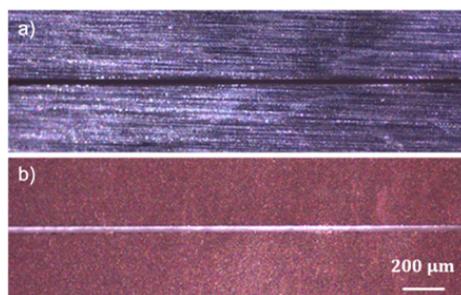


Figura 2 - Bordi di taglio privi di difetti in caso foil in alluminio a) e di rame b)

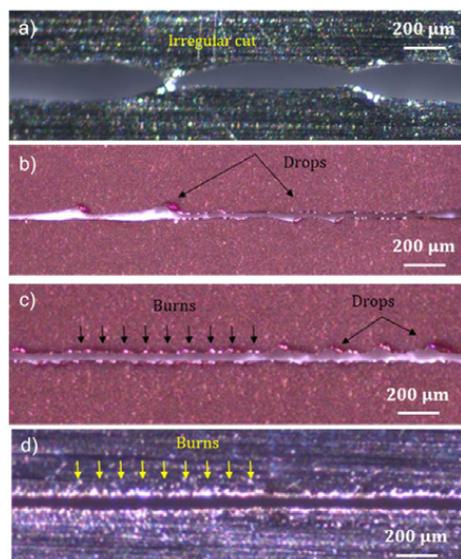


Figura 3 - Bordi di taglio con diverse tipologie di difetti (bruciature, bave ecc.) in caso foils in alluminio a) e d) e di rame b) e c)

La sostenibilità del processo

In realtà, non tutte le combinazioni potenza e velocità hanno il medesimo impatto in caso di effettiva ottimizzazione di una linea produttiva. A tal proposito, si prendano in considerazione, sempre in Figura 6, le indicazioni relative alle nomenclature $Kerf_R$ e $Kerf_S$, rispettivamente larghezza inferiore e superiore del solco di taglio misurate in micron.

Ebbene si vede come, sempre per tagli privi di difetto, il passaggio da un taglio effettuato con 1200W e 5 m/s (condizione 1) a un taglio effettuato con 800W e 10m/s (condizione 2) porti il passaggio da un solco con larghezza media da circa 150 micron a uno di circa 55 micron. Analogamente, restando a 10m/s ma riducendo la potenza di taglio da 1200W

tà dell'impianto, la qualità del prodotto e la ripetibilità del processo stesso.

Il primo aspetto fondamentale è la definizione del perimetro di taglio, ovvero la combinazione tra le potenze erogabili dal laser e le velocità di scansione reali dello scanner che permettano la separazione dei foils. Aspetto importante del processo è che si tratta di un taglio in remoto e, quindi, in regime vaporativo che avviene senza uso di gas di espulsione e/o di assistenza. Nelle Figure 4 e 5 un esempio di curve limite di taglio per foil in alluminio e rame puro.

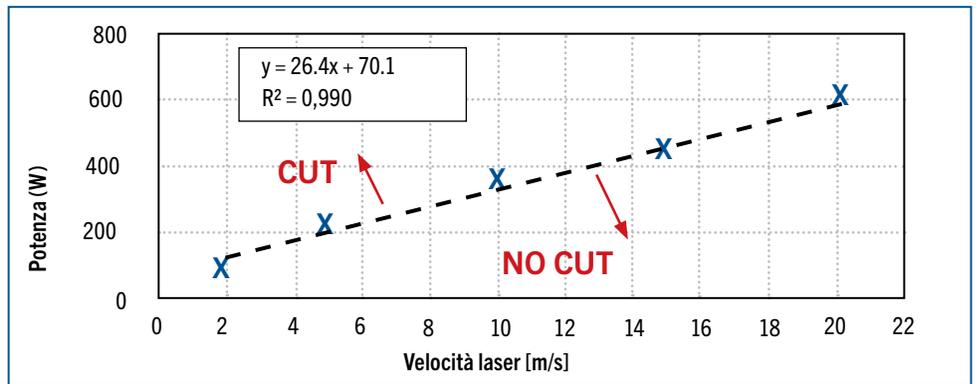
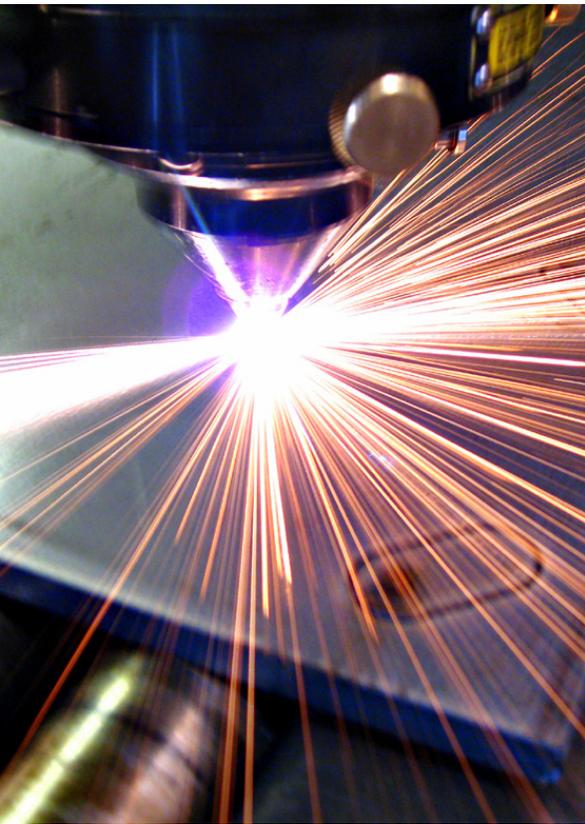


Figura 4 - Esempio del perimetro di taglio in caso di taglio al volo di film di alluminio puro

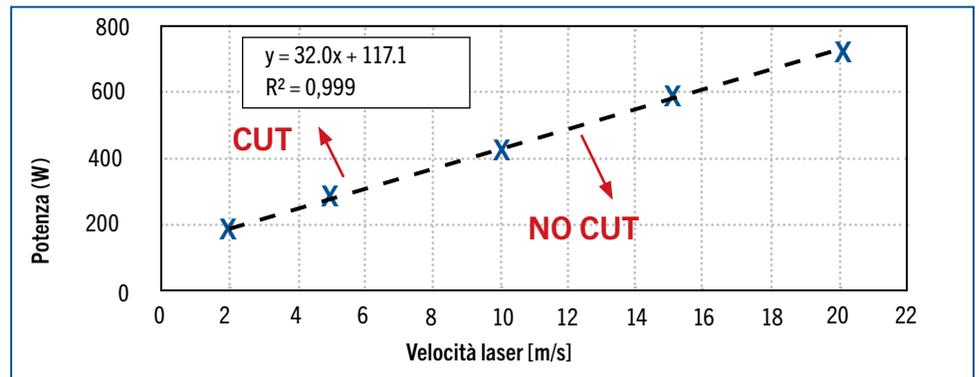


Figura 5 - Esempio del perimetro di taglio in caso di taglio al volo di film di rame puro

Una modalità di taglio a impulsi (PW) comporta un taglio con meno difetti, mentre quella in continua (CW) è preferibile per velocità di taglio elevate e/o spessori maggiori

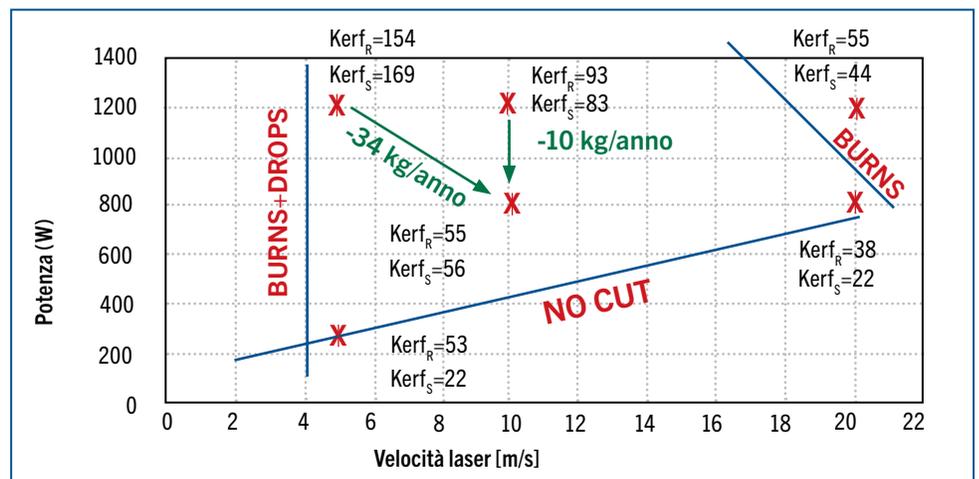


Figura 6 - Esempio di una mappa di processo ottimale nel taglio in remoto di un foil di rame puro

Conclusioni

Infine, è molto importante sottolineare come la messa a punto di questi processi di taglio possa essere fatta in maniera rapida ed affidabile attraverso semplici simulazioni numeriche. Infatti, poiché il taglio avviene principalmente per vaporizzazione dei foils, la previsione delle temperature nel materiale viene determinata con semplici equazioni che danno risultati accurati con tempi di calcolo molto contenuti. I risultati sperimentali presentati in

questo articolo sono stati ottenuti presso i laboratori del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Bologna; per maggiori informazioni ed approfondimenti sui temi affrontati è possibile rivolgersi sia all'autore che contattare l'Azienda Nextema srl (<https://www.nextema.com>) che da anni sviluppa processi relativi alla fabbricazione di prodotti per la e-mobility, realizza lotti produttivi di validazione prodotto e vende impianti custom su specifiche richieste dei clienti.