



TECNOLOGIE IMPIANTISTICA | TECHNOLOGIES D'INSTALLATION

*Intervista a: Francesco Goi, Tecnofirma
a cura di Patricia Malavolti*

SOLUZIONI MODULARI PER RISPONDERE IN MODO FLESSIBILE AI CONTINUI CAMBIAMENTI DEI MERCATI INDUSTRIALI

SOLUTIONS MODULAIRES POUR RÉPONDRE AVEC SOUPLESSE AUX CHANGEMENTS CONSTANTS DES MARCHÉS INDUSTRIELS

L'esperienza maturata nello sviluppo di impianti modulari per i motori elettrici automotive rappresenta oggi un patrimonio strategico di Tecnofirma: le stesse logiche di flessibilità, scalabilità e convertibilità vengono applicate anche alla progettazione e produzione di impianti modulari per la verniciatura. La modularità diventa così un paradigma trasversale, capace di rispondere all'incertezza dei mercati industriali contemporanei con soluzioni più resilienti e sostenibili nel tempo. ■ L'expérience acquise dans le développement d'installations modulaires pour les moteurs électriques automobiles représente aujourd'hui un atout stratégique pour Tecnofirma : les mêmes principes de flexibilité, d'évolutivité et de convertibilité sont également appliqués à la conception et à la production d'installations modulaires pour la peinture. La modularité devient ainsi un paradigme transversal, capable de répondre à l'incertitude des marchés industriels contemporains avec des solutions plus résilientes et durables dans le temps.



Con 70 anni di esperienza nell'impiantistica per il lavaggio industriale e la verniciatura, Tecnofirma (fig. 1) ha saputo evolvere il proprio know-how entrando nel settore dell'imregnazione dei motori elettrici per l'*automotive*. La spinta principale è stata l'adattamento a un mercato in rapido cambiamento, caratterizzato da forte incertezza sui volumi produttivi: sempre più spesso le linee venivano progettate su numeri teorici che talvolta si concretizzavano, talvolta no. Le previsioni sono diventate instabili e gli investimenti rigidi si sono rivelati rischiosi. Da questa consapevolezza è nata una nuova soluzione: l'impianto modulare. Un concetto completamente diverso rispetto alle linee tradizionali, basato su moduli standard replicabili e scalabili, che consentono di adeguare nel tempo la capacità produttiva, riconvertire l'impianto a nuovi prodotti e persino riallocare i moduli tra stabilimenti diversi a livello globale. Per approfondire questa evoluzione dell'impiantistica abbiamo intervistato Francesco Goi (fig. 2), direttore generale di Tecnofirma.

1 – Tecnofirma, con sede a Monza, ha compiuto 70 anni di attività nella progettazione e costruzione di impianti di lavaggio, verniciatura e impregnazione.

Tecnofirma, dont le siège se trouve à Monza, a fêté ses 70 ans d'activité dans la conception et la construction d'installations de lavage, de peinture et d'imprégnation.

2 – Francesco Goi è il direttore generale dell'azienda.

Francesco Goi est le directeur général de l'entreprise.

Forte de 70 ans d'expérience dans les installations de lavage industriel et de peinture, Tecnofirma (fig. 1) a su faire évoluer son savoir-faire en se lançant dans le secteur de l'imprégnation des moteurs électriques pour l'*automobile*. La principale motivation était de s'adapter à un marché en rapide évolution, caractérisé par une forte incertitude quant aux volumes de production : de plus en plus souvent, les lignes étaient conçues sur la base de chiffres théoriques qui se concrétisaient parfois, parfois non. Les prévisions sont devenues instables et les investissements rigides se sont révélés risqués. De cette prise de conscience est née une nouvelle solution : l'installation modulaire. Un concept totalement différent des lignes traditionnelles, basé sur des modules standard reproductibles et évolutifs, qui permettent d'adapter la capacité de production au fil du temps, de reconvertir l'installation pour de nouveaux produits et même de réaffecter les modules entre différentes usines à l'échelle mondiale. Pour approfondir cette évolution dans le domaine des installations, nous avons interviewé Francesco Goi (fig. 2), directeur général de Tecnofirma.



Siete riconosciuti come leader mondiale in una tipologia molto specifica di impianti, quelli per l'impregnazione dei motori elettrici. Come nasce questa specializzazione?

Nasce da molto lontano. La nostra azienda ha 70 anni di storia nell'impiantistica, in particolare in due settori molto specifici: il lavaggio industriale e la verniciatura. Sono due mondi che, pur sembrando affini, hanno in realtà *know-how* molto diversi. La verniciatura richiede competenze legate alla gestione dei fluidi, dei vapori, dei forni, delle cotture; il lavaggio, invece, è fortemente orientato all'automazione, alla meccanica e alla movimentazione di pezzi a ritmi molto serrati. Nel tempo ci siamo resi conto che, in alcuni casi, era possibile mettere insieme queste competenze per affrontare mercati limitrofi a entrambi.

Quando avete colto l'opportunità di entrare nel settore dell'impregnazione dei motori elettrici?

Abbiamo iniziato a guardare a questo ambito intorno al 2000, ma la vera accelerazione è arrivata nel 2012. In quel momento abbiamo individuato un'opportunità concreta: combinare il *know-how* maturato nel lavaggio e nella verniciatura per sviluppare un nuovo prodotto, appunto l'impianto per l'impregnazione dei motori elettrici (fig. 3).

Per chi non è del settore, in cosa consiste esattamente l'impregnazione di un motore elettrico?

L'impregnazione è un processo fondamentale per i motori elettrici. Si applica una resina sullo statore e sul rotore. Questa resina ha una doppia funzione: da un lato fornisce un secondo

3 – Un impianto di impregnazione di motori elettrici (rotori e statore): la caratteristica innovativa è la modularità dell'impianto che garantisce flessibilità e adattamento alla produzione.

Une installation d'impregnation de moteurs électriques (rotors et stators) : la caractéristique innovante est la modularité de l'installation qui garantit flexibilité et adaptation à la production.

Vous êtes reconnus comme le leader mondial dans un type très spécifique d'installations, celles destinées à l'impregnation des moteurs électriques. Comment cette spécialisation est-elle née ?

Cela vient de très loin. Notre entreprise a 70 ans d'expérience dans le domaine des installations, en particulier dans deux secteurs très spécifiques : le lavage industriel et la peinture. Ce sont deux mondes qui, bien qu'ils semblent similaires, ont en réalité des savoir-faire très différents. La peinture nécessite des compétences liées à la gestion des fluides, des vapeurs, des fours et des cuissons ; le lavage, en revanche, est fortement orienté vers l'automatisation, la mécanique et la manutention de pièces à un rythme très soutenu.

Au fil du temps, nous avons réalisé que, dans certains cas, il était possible de mettre en commun ces compétences pour aborder des marchés communs aux deux entreprises.

Quand avez-vous saisi l'opportunité de vous lancer dans le secteur de l'impregnation des moteurs électriques ?

Nous avons commencé à nous intéresser à ce domaine vers l'an 2000, mais la véritable accélération s'est produite en 2012. À ce moment-là, nous avons identifié une opportunité concrète : combiner le savoir-faire acquis dans le domaine du lavage et de la peinture pour développer un nouveau produit, à savoir l'installation d'impregnation des moteurs électriques (fig. 3).

Pour ceux qui ne sont pas du secteur, en quoi consiste exactement l'impregnation d'un moteur électrique ?



isolamento elettrico, dall'altro garantisce compattezza strutturale.

La compattezza è essenziale perché, durante il funzionamento, statore e rotore sono soggetti a vibrazioni e movimenti. Senza un'adeguata impregnazione, i conduttori possono sfregare tra loro, danneggiare l'isolamento e portare a cortocircuiti, compromettendo l'affidabilità del motore.

In che modo siete riusciti a integrare le vostre competenze storiche in questo nuovo ambito?

È stato un lavoro di integrazione molto naturale. Dal mondo del lavaggio abbiamo portato tutta la parte di automazione, meccanica e movimentazione dei pezzi. Parliamo di linee automatiche in grado di gestire cicli continui e ritmi produttivi elevati (fig. 4).

Dal mondo della verniciatura (fig. 5), invece, abbiamo trasferito la competenza nella gestione dei fluidi. Una resina, per certi aspetti, si comporta in modo simile a una vernice: va gestita, dosata, controllata dal punto di vista delle emissioni, che devono essere trattate in sicurezza.

Poi c'è tutto il tema della cottura. Prima e dopo l'applicazione, lo statore deve essere portato a temperatura, mantenuto per il tempo necessario affinché la resina polimerizzi correttamente, e infine raffreddato. Nella progettazione dei forni abbiamo quindi combinato elementi tipici di entrambe le tecnologie.

Oggi come vi posizionate sul mercato con questa proposta?

Noi ci proponiamo quando il cliente non cerca un impianto tradizionale con semplice convo-

4 – Un impianto di lavaggio, completamente automatizzato.

Une installation de lavage entièrement automatisée.

L'imprégnation est un processus fondamental pour les moteurs électriques. Une résine est appliquée sur le stator et le rotor. Cette résine a une double fonction : d'une part, elle fournit une deuxième isolation électrique, d'autre part, elle garantit la compacité structurale.

La compacité est essentielle car, pendant le fonctionnement, le stator et le rotor sont soumis à des vibrations et à des mouvements. Sans imprégnation adéquate, les conducteurs peuvent frotter les uns contre les autres, endommager l'isolation et provoquer des courts-circuits, compromettant ainsi la fiabilité du moteur.

Comment avez-vous réussi à intégrer vos compétences historiques dans ce nouveau domaine ?

Ce fut un travail d'intégration très naturel. Du monde du lavage, nous avons apporté toute la partie automatisation, mécanique et manutention des pièces. Il s'agit de lignes automatiques capables de gérer des cycles continus et des rythmes de production élevés (fig. 4).

Dans le domaine de la peinture (fig. 5), nous avons transféré notre expertise dans la gestion des fluides. Une résine se comporte, à certains égards, de manière similaire à une peinture : elle doit être gérée, dosée, contrôlée du point de vue des émissions, qui doivent être traitées en toute sécurité.

Et puis, il y a toute la question de la cuisson. Après l'application, le stator doit être porté à température, maintenu à cette température pendant le temps nécessaire à la polymérisation correcte de la résine, puis refroidi. Dans la conception des fours, nous avons donc combiné des éléments typiques des deux technologies.



gliatore, ma una linea automatica di nuova concezione. L'impregnazione è il caso più evidente, ma lo stesso approccio vale anche per la verniciatura: analizziamo le esigenze specifiche e sviluppiamo soluzioni integrate, sfruttando la contaminazione tra le nostre competenze.

Può farci un esempio concreto di questa innovazione?

Certamente. Un esempio è il forno a campana. Nel mondo della verniciatura è una soluzione molto conosciuta, ma al di fuori di quel settore è meno diffusa. Noi l'abbiamo proposta anche per l'impregnazione.

Non si tratta del classico "fornone" da verniciatura, ma di una soluzione molto compatta, che si sviluppa in altezza e occupa un'impronta a terra molto limitata. Inoltre, offre vantaggi importanti dal punto di vista energetico, perché consente di contenere il volume riscaldato e quindi il consumo di energia.

Sono concetti ben consolidati per chi opera nella verniciatura, ma quando li presentiamo a clienti che non hanno esperienza in quel settore, spesso rappresentano una novità significativa.

Possiamo dire quindi che la vostra forza è proprio la capacità di unire competenze diverse?

Esattamente. La nostra *leadership* nasce proprio dalla capacità di integrare due mondi tecnici distinti e trasformarli in una proposta innovativa. È questa contaminazione tra lavaggio e verniciatura che ci ha permesso di diventare un punto di riferimento a livello mondiale nell'impregnazione dei motori elettrici.

5 – Un impianto di verniciatura, in questo caso a liquido, per la verniciatura di lenti (fanali) auto: un'altra specialità di Tecnofirma.

Une installation de peinture, dans ce cas à liquide, pour la peinture des lentilles (phares) automobiles : une autre spécialité de Tecnofirma.

Comment vous positionnez-vous aujourd'hui sur le marché avec cette offre ?

Nous intervenons lorsque le client ne recherche pas une installation traditionnelle avec un simple convoyeur, mais une ligne automatique de conception nouvelle. L'impregnation est le cas le plus évident, mais la même approche s'applique également au vernissage : nous analysons les besoins spécifiques et développons des solutions intégrées, en tirant parti de la synergie entre nos compétences.

Pouvez-vous nous donner un exemple concret de cette innovation ?

Bien sûr. Un exemple est le four à cloche. Dans le monde de la peinture, c'est une solution très connue, mais en dehors de ce secteur, elle est moins répandue. Nous l'avons également proposée pour l'impregnation.

Il ne s'agit pas d'un four de peinture classique, mais d'une solution très compacte, qui se développe en hauteur et occupe un encombrement au sol très limité. Il offre également des avantages importants sur le plan énergétique, car il permet de limiter le volume chauffé et donc la consommation d'énergie. Ce sont des concepts bien établis pour ceux qui travaillent dans le domaine de la peinture, mais lorsque nous les présentons à des clients qui n'ont aucune expérience dans ce secteur, ils représentent souvent une nouveauté importante.

Pouvons-nous donc dire que votre force réside précisément dans votre capacité à réunir différentes compétences ?

Exactement. Notre *leadership* découle précisément de notre capacité à intégrer deux mondes techniques distincts et à les transformer en une pro-

Quanto ha inciso il cambiamento del mercato automotive in questa scelta?

Tantissimo. Storicamente, nel lavaggio industriale eravamo fortemente concentrati sul motore a combustione: teste, basamenti, alberi, sottobasamenti. Direi che circa il 70% dei nostri impianti di lavaggio era dedicato a quei componenti.

A un certo punto abbiamo capito che il motore a combustione sarebbe andato in difficoltà e che il motore elettrico avrebbe preso sempre più spazio. Era vitale muoversi per tempo.

In realtà i primi impianti d'impregnazione li avevamo già realizzati intorno al 2000, molto simili agli impianti di verniciatura. Poi, tra il 2008 e il 2012, abbiamo sviluppato linee molto più automatizzate e performanti. Il vero successo commerciale è arrivato intorno al 2014. Nei primi anni eravamo un po' "seminanti", ma quella visione anticipata ci ha dato un vantaggio competitivo importante.

In questi anni avete anche diversificato le linee di prodotto?

Sì, perché le esigenze sono cambiate rapidamente. All'inizio del boom del motore elettrico si lavorava su motori cosiddetti "a filo": statore e rotore erano avvolti con filo di rame tradizionale. I primi grandi progetti li abbiamo realizzati per case automobilistiche molto importanti; il primo vero successo si è concretizzato con una casa automobilistica francese, a cui abbiamo fornito numerose macchine. In quel periodo la priorità era l'efficienza: occupare poco spazio, produrre grandi volumi, ottimizzare i numeri. Si pensava che il prodotto avrebbe avuto un ciclo di vita di dieci anni e che le macchine sarebbero rimaste a regime per lungo tempo.

Il mercato non è andato in quella direzione?

Non completamente. Il prodotto si è evoluto molto più rapidamente del previsto. Ti trovi a progettare una macchina per un certo tipo di motore e, nel giro di pochi anni, il motore cambia.

Si è passati dal motore a filo al motore con tecnologia "hairpin", dove il filo di rame è stato sostituito da barre sagomate. Questo tipo di motore ha conquistato il mercato perché offre prestazioni migliori, ma è molto più complesso da impregnare. Il processo richiede maggiore flessibilità e un controllo molto più sofisticato.

Cosa cambia, dal punto di vista tecnico, nell'impregnazione di questi nuovi motori?

Se semplifichiamo al massimo: lo statore è un cilindro metallico, chiamato pacco lamellare, attraversato da fili di rame. Nei motori a filo avvolto, il rame è raggruppato in matasse. Nei più moderni hairpin, il circuito rame è composto da forcine, barre infilate da un lato e saldate dall'altro. In in-

position innovante. C'è questa combinazione tra lavaggio e pittura che ci ha permesso di diventare un riferimento mondiale nel campo dell'impregnazione dei motori elettrici.

Dans quelle mesures l'évolution du marché automobile a-t-elle influencé ce choix ?

Beaucoup. Historiquement, dans le domaine du lavage industriel, nous étions fortement concentrés sur le moteur à combustion : culasses, carters, arbres, sous-carters. Je dirais qu'environ 70 % de nos installations de lavage étaient consacrées à ces composants. À un certain moment, nous avons compris que le moteur à combustion allait connaître des difficultés et que le moteur électrique allait prendre de plus en plus d'importance. Il était vital d'agir rapidement. En réalité, nous avons déjà réalisé les premières installations d'impregnation vers l'an 2000, très similaires aux installations de peinture. Puis, entre 2008 et 2012, nous avons développé des lignes beaucoup plus automatisées et performantes. Le véritable succès commercial est arrivé vers 2014. Au début, nous étions un peu « précurseurs », mais cette vision avant-gardiste nous a donné un avantage concurrentiel important.

Avez-vous également diversifié vos gammes de produits au cours de ces dernières années ?

Oui, car les besoins ont rapidement évolué. Au début du boom du moteur électrique, on travaillait sur des moteurs dits « à fil » : le stator et le rotor étaient enroulés avec du fil de cuivre traditionnel.

Nous avons réalisé nos premiers grands projets pour des constructeurs automobiles très importants ; notre premier véritable succès s'est concrétisé avec une maison automobile française, à qui nous avons fourni de nombreuses machines. À cette époque, la priorité était l'efficacité : occuper peu d'espace, produire de grands volumes, optimiser les chiffres. On pensait que le produit aurait une durée de vie de dix ans et que les machines resteraient à plein régime pendant longtemps.

Le marché n'a-t-il pas évolué dans cette direction ?

Pas tout à fait. Le produit a évolué beaucoup plus rapidement que prévu. Vous concevez une machine pour un certain type de moteur et, en l'espace de quelques années, le moteur change.

On est passé du moteur à fil au moteur à technologie « hairpin », où le fil de cuivre a été remplacé par des barres profilées. Ce type de moteur a conquis le marché car il offre de meilleures performances, mais il est beaucoup plus complexe à imprégner. Le processus exige davantage de flexibilité et un contrôle beaucoup plus sophistiqué.

Quels sont les changements techniques apportés à l'impregnation de ces nouveaux moteurs ?

Si nous simplifions au maximum : le stator est un cylindre métallique, appelé paquet de laminations,



gresso e uscita dal pacco ci sono le estremità in rame. Questa geometria più complessa rende più difficile la penetrazione uniforme della resina. Per garantire un *filling factor* ottimale (ovvero il riempimento dello *slot*) bisogna calibrare con precisione l'erogazione della resina, gestirne la temperatura, la viscosità, e dare allo statore la possibilità di inclinarsi, aumentare la velocità di rotazione, a tratti invertirla. Con questi accorgimenti non si ha più una macchina pensata solo per fare numeri, ma una piattaforma flessibile, capace di adattarsi all'evoluzione continua del prodotto.

Intanto il mercato è cambiato ancora.

Sì, ed è cambiato in modo ancora più radicale. Ci si è accorti che si progettavano linee produttive su numeri teorici che talvolta si concretizzavano, talvolta no. Le previsioni sono diventate estremamente incerte. A quel punto abbiamo sviluppato una nuova soluzione: l'impianto modulare. Un concetto completamente diverso.

In cosa consiste?

È un impianto composto da moduli identici. Il cuore della macchina di impregnazione è modulare: il cliente può partire con uno, due, tre, quattro moduli – anche otto – in funzione della cadenza produttiva richiesta.

Se il mercato cresce, può aggiungere moduli. Se cambia prodotto, può riconvertirli con interventi minimi. Questa soluzione è stata brevettata. Noi non eravamo abituati a brevettare molto, ma avendo investito così tanto in ricerca abbiamo deciso di proteggere tutto ciò che era possibile.

6 – Il laboratorio interno di Tecnofirma è aperto ai clienti che possono effettuare prove reali sui propri pezzi. È reparto indispensabile per sviluppare layout impiantistici basati sulla modularità, la nuova frontiera degli impianti di Tecnofirma.

Le laboratoire interne de Tecnofirma est ouvert aux clients qui peuvent effectuer des essais réels sur leurs pièces. Il s'agit d'un département indispensable pour développer des configurations d'installations basées sur la modularité, la nouvelle frontière des installations Tecnofirma.

traversé par des fils de cuivre. Dans les moteurs à fil enroulé, le cuivre est regroupé en écheveaux. Dans les plus modernes *hairpin*, le circuit cuivre est composé de petites fourches, des barres enfilées d'un côté et soudées de l'autre. À l'entrée et à la sortie du paquet se trouvent les extrémités en cuivre. Cette géométrie plus complexe rend plus difficile la pénétration uniforme de la résine. Pour garantir un facteur de remplissage optimal (c'est-à-dire le remplissage de la fente), il faut calibrer avec précision la distribution de la résine, gérer sa température, sa viscosité, et permettre au stator de s'incliner, d'augmenter la vitesse de rotation, voire de l'inverser par intermittence. Avec ces précautions, on n'a plus une machine conçue uniquement pour faire des chiffres, mais une plateforme flexible, capable de s'adapter à l'évolution continue du produit.

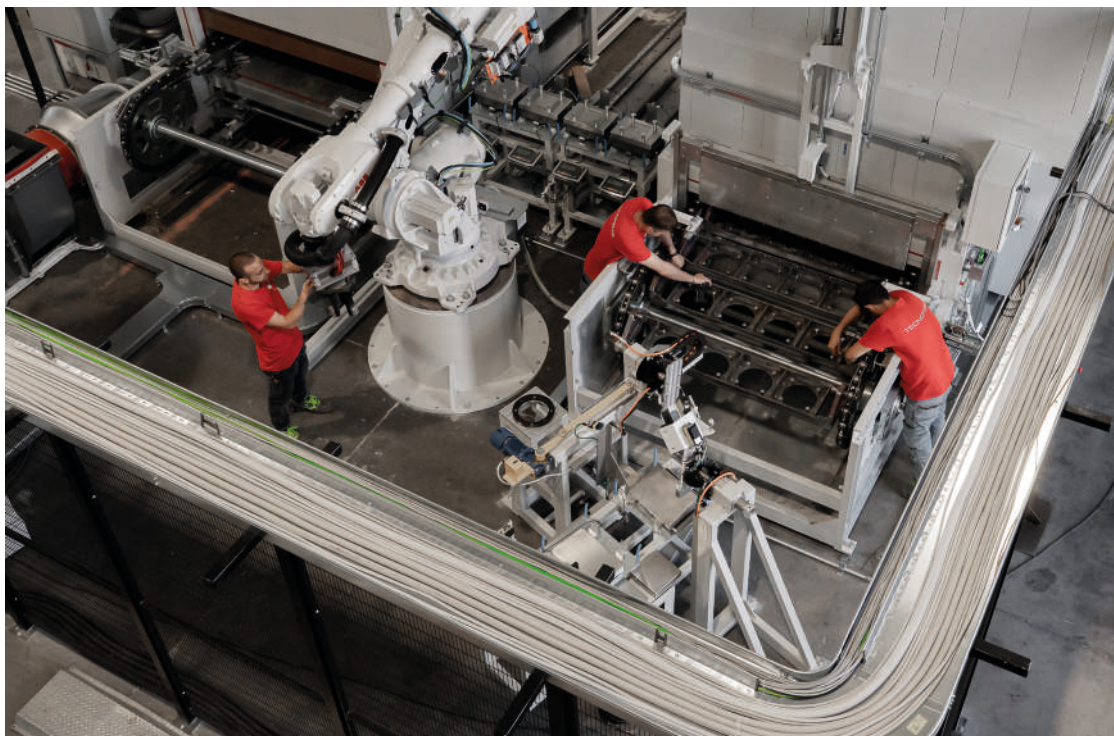
Entre-temps, le marché a encore changé.

Oui, et cela a changé de manière encore plus radicale. On s'est rendu compte que les lignes de production étaient conçues sur la base de chiffres théoriques qui parfois se concrétisaient, parfois non. Les prévisions sont devenues extrêmement incertaines. Nous avons alors développé une nouvelle solution : l'installation modulaire. Un concept complètement différent.

En quoi cela consiste-t-il ?

Il s'agit d'une installation composée de modules identiques. Le cœur de la machine d'imprégnation est modulaire : le client peut commencer avec un, deux, trois, quatre modules, voire huit, en fonction du rythme de production requis.

Si le marché se développe, vous pouvez ajouter des modules. Si vous changez de produit, vous



Questa modularità deriva dalla vostra esperienza nel lavaggio?

In realtà no, è un approccio nato proprio dall'incertezza del mercato del motore elettrico. È un settore in cui nessuno ha certezze sul futuro, anche perché lo strumento regolatorio influenza fortemente le dinamiche di mercato. Oggi si parla di cambiamenti normativi in Europa, di possibili revisioni delle strategie... È un contesto in continua evoluzione. In una situazione del genere, tutti preferiscono investire in soluzioni scalabili e facilmente riconvertibili.

Siamo avvantaggiati da avere a disposizione un laboratorio interno (fig. 6), a disposizione anche dei clienti, che consente di sviluppare e personalizzare lo studio dell'impianto attraverso prove reali eseguite direttamente sui loro componenti specifici. È un elemento distintivo della nostra offerta, che permette di definire in modo puntuale e approfondito la soluzione tecnica più idonea alle esigenze produttive.

A questa opportunità si affianca un ulteriore valore aggiunto: il pre-montaggio delle macchine (fig. 7) presso la nostra area collaudi interna, attività che consideriamo parte integrante della fornitura. In questo modo l'impianto viene testato e validato prima della spedizione, cosicché, una volta installato presso il cliente, sia immediatamente pronto per l'avvio della produzione.

Avete già esempi concreti di questo modello in funzione?

Sì, abbiamo fornito clienti in Cina, in Messico, in USA, Slovacchia, Svezia e in Germania con lo stesso concetto modulare. In alcuni casi i volumi

7 – Ogni impianto è pre-montato in laboratorio: il cliente che lo riceve ha la certezza di poterlo mettere in attività al termine del montaggio.

Chaque installation est pré-montée en laboratoire : le client qui la reçoit a la certitude de pouvoir la mettre en service dès la fin du montage.

pouvez les reconverter avec un minimum d'interventions. Cette solution a été brevetée. Nous n'avions pas l'habitude de déposer beaucoup de brevets, mais ayant investi autant dans la recherche, nous avons décidé de protéger tout ce qui était possible.

Cette modularité découle-t-elle de votre expérience dans le domaine du lavage ?

En réalité, non, c'est une approche née précisément de l'incertitude du marché des moteurs électriques. C'est un secteur où personne n'a de certitudes quant à l'avenir, notamment parce que les instruments réglementaires influencent fortement la dynamique du marché. Aujourd'hui, on parle de changements réglementaires en Europe, d'éventuelles révisions des stratégies... C'est un contexte en constante évolution. Dans une telle situation, tout le monde préfère investir dans des solutions évolutives et facilement riconvertibles.

Nous avons l'avantage de disposer d'un laboratoire interne (fig. 6), également à la disposition des clients, qui permet de développer et de personnaliser l'étude de l'installation grâce à des essais réels effectués directement sur leurs composants spécifiques. C'est un élément distinctif de notre offre, qui permet de définir de manière précise et approfondie la solution technique la mieux adaptée aux besoins de production.

À cette opportunité s'ajoute une valeur ajoutée supplémentaire : le pré-montage des machines (fig. 7) dans notre zone de tests interne, activité que nous considérons comme faisant partie intégrante de la fourniture. De cette manière, l'installation est testée et validée avant l'expédition, de sorte qu'une fois installée chez le client, elle soit immédiatement prête pour le démarrage de la production.

reali si sono rivelati molto diversi da quelli inizialmente previsti.

Il cliente sta addirittura spostando i moduli da un continente all'altro per seguire la domanda. Questo dimostra quanto il modello sia efficace. Se una produzione si ferma, non butti via l'impianto: lo converti o lo riallochi.

C'è qualche controindicazione?

Una macchina flessibile e modulare costa un po' di più rispetto a una soluzione rigida e super ottimizzata. Può occupare anche leggermente più spazio. Ma il risparmio si vede nel tempo, e non in dieci anni, spesso già in uno o due. Perché se il mercato cambia, non ti trovi con linee da centinaia di milioni ferme e difficilmente riattrezzabili. Nel motore elettrico abbiamo visto linee enormi stoppate dopo un anno. Riconvertirle è quasi impossibile.

Con una soluzione modulare, invece, puoi adattarti, spostare, riconvertire. Per grandi gruppi con stabilimenti in diverse aree del mondo, è un vantaggio strategico enorme.

Possiamo dire che la modularità è diventata un vostro nuovo paradigma?

Absolutamente sì. È un concetto che sta tornando anche nelle linee di lavaggio e di verniciatura. Ci siamo resi conto che la flessibilità non è un'opzione, ma una necessità strutturale.

Oggi il mercato premia chi è in grado di adattarsi rapidamente. E noi abbiamo deciso di costruire impianti che si adattino insieme ai nostri clienti.

Tecnofirma sarà presente nell'edizione 2026 di
P&E Coating Days,
7-8 Ottobre,
Kilometro Rosso
Innovation District (BG)

Avez-vous déjà des exemples concrets de ce modèle en fonctionnement ?

Oui, nous avons fourni des clients en Chine, au Mexique, aux États-Unis, en Slovaquie, en Suède et en Allemagne avec le même concept modulaire. Dans certains cas, les volumes réels se sont révélés très différents de ceux initialement prévus.

Le client déplace même les modules d'un continent à l'autre pour répondre à la demande. Cela démontre l'efficacité du modèle. Si une production s'arrête, ne jetez pas l'installation : convertissez-la ou réaffectez-la.

Y a-t-il des contre-indications ?

Une machine flexible et modulaire coûte un peu plus cher qu'une solution rigide et ultra-optimisée. Elle peut également occuper un peu plus d'espace. Mais les économies se voient au fil du temps, et pas seulement au bout de dix ans, souvent déjà au bout d'un ou deux ans. Car si le marché évolue, vous ne vous retrouvez pas avec des lignes de production valant des centaines de millions d'euros, immobilisées et difficilement rééquipables. Dans le moteur électrique, nous avons vu d'énormes lignes arrêtées après un an. Il est pratiquement impossible de les reconvertir.

Avec une solution modulaire, en revanche, vous pouvez vous adapter, déplacer, reconvertir. Pour les grands groupes ayant des usines dans différentes régions du monde, cela représente un avantage stratégique considérable.

Peut-on dire que la modularité est devenue votre nouveau paradigme ?

Absolument oui. C'est un concept qui fait également son retour dans les lignes de lavage et de peinture. Nous avons compris que la flexibilité n'est pas une option, mais une nécessité structurelle.

Aujourd'hui, le marché récompense ceux qui sont capables de s'adapter rapidement. Et nous avons décidé de construire des installations qui s'adaptent à nos clients.

APPROFONDIMENTO

Il processo di impregnazione degli statori per motori elettrici è una sequenza di fasi strettamente controllate, in cui ogni parametro – temperatura, viscosità, tempi, rotazione – incide in modo determinante sulla qualità finale del componente.

Il ciclo inizia con il preriscaldamento dello statore, che viene portato a una temperatura tipicamente intorno ai 120 °C. Questo passaggio non serve solo a preparare il pezzo alla fase successiva, ma è fondamentale per garantire la corretta fluidità della resina e favorirne la penetrazione all'interno degli avvolgimenti.

APPROFONDISSEMENT

Le processus d'imprégnation des stators pour moteurs électriques est une séquence d'étapes strictement contrôlées, dans laquelle chaque paramètre (température, viscosité, temps, rotation) a une incidence déterminante sur la qualité finale du composant.

Le cycle commence par le préchauffage du stator, qui est porté à une température généralement comprise autour de 120 °C. Cette étape sert non seulement à préparer la pièce pour la phase suivante, mais elle est également fondamentale pour garantir la fluidité correcte de la résine et favoriser sa pénétration à l'intérieur des enroulements.

Una volta raggiunta la temperatura *target*, lo statore viene messo in rotazione. Durante la rotazione la resina viene dosata in punti specifici secondo una «ricetta» precisa, studiata in funzione della geometria del componente e delle caratteristiche del materiale. La penetrazione della resina avviene per capillarità: grazie alla combinazione di temperatura, viscosità controllata e movimento, il materiale isolante riesce a infiltrarsi negli interstizi più critici del pacco lamellare e degli avvolgimenti in rame.

La gestione termica è cruciale: occorre controllare con precisione sia la temperatura del pezzo sia quella della resina. Per questo motivo, a monte del processo produttivo viene svolta un'intensa attività di laboratorio, volta a validare i parametri operativi – temperatura, viscosità, tempi di mantenimento – e a garantire che il comportamento della resina sia coerente con le prestazioni attese.

Dopo il dosaggio, lo statore continua a ruotare per consentire la fase di gelificazione. Ogni resina, infatti, richiede un determinato intervallo di tempo e una specifica finestra termica per iniziare a rassodarsi in modo controllato. Solo successivamente si passa alla fase di cottura vera e propria, ovvero alla polimerizzazione, che conferisce al materiale le sue caratteristiche meccaniche ed elettriche definitive. Il ciclo si conclude con il raffreddamento del pezzo. Le resine utilizzate possono essere poliesteri o epossidiche, materiali che, per molti aspetti, presentano analogie con le vernici industriali sia in termini di gestione dei fluidi sia di trattamento termico.

Con l'introduzione dei motori *hairpin* – caratterizzati da barre di rame sagomate anziché fili tradizionali – il processo si è ulteriormente evoluto. La geometria più complessa ha reso necessario un controllo ancora più raffinato dei parametri di impregnazione, poiché la distribuzione della resina e la penetrazione nei nuovi spazi risultano più critiche.

Per affrontare questa sfida è stata avviata una collaborazione di ricerca con il Politecnico di Milano, con l'obiettivo di analizzare scientificamente l'influenza dei diversi parametri sulla qualità dell'impregnazione e sulla velocità del ciclo. Questo lavoro ha fornito una base teorica solida, traducendosi in criteri progettuali più avanzati e in soluzioni tecnologiche ottimizzate.

Da questa evoluzione è nata una nuova generazione di impianti, progettata per offrire maggiore flessibilità di processo. La macchina sviluppata – denominata *U-Line* e successivamente brevettata tra il 2018 e il 2020, come l'impianto modulare, ultima evoluzione, anch'esso brevettato – consente di adattare con maggiore facilità il ciclo a diverse tipologie di statore e alle continue evoluzioni del prodotto. Oltre a garantire elevati standard qualitativi nell'impregnazione, permette di intervenire sui parametri senza dover riprogettare integralmente l'impianto, rispondendo così in modo efficace alla crescente variabilità del mercato globale del motore elettrico.

Une fois la température cible atteinte, le stator est mis en rotation. Pendant la rotation, la résine est dosée à des endroits spécifiques selon une « recette » précise, étudiée en fonction de la géométrie du composant et des caractéristiques du matériau. La pénétration de la résine s'effectue par capillarité : grâce à la combinaison de la température, de la viscosité contrôlée et du mouvement, le matériau isolant parvient à s'infiltrer dans les interstices les plus critiques du paquet lamellaire et des enroulements en cuivre.

La gestion thermique est cruciale : il faut contrôler avec précision tant la température de la pièce que celle de la résine. C'est pourquoi, en amont du processus de production, un travail intensif est effectué en laboratoire afin de valider les paramètres opérationnels (température, viscosité, temps de maintien) et de garantir que le comportement de la résine est conforme aux performances attendues.

Après le dosage, le stator continue de tourner pour permettre la phase de gélification. En effet, chaque résine nécessite un certain laps de temps et une plage thermique spécifique pour commencer à durcir de manière contrôlée. Ce n'est qu'ensuite que l'on passe à la phase de cuisson proprement dite, c'est-à-dire à la polymérisation, qui confère au matériau ses caractéristiques mécaniques et électriques définitives. Le cycle se termine par le refroidissement de la pièce. Les résines utilisées peuvent être des polyesters ou des époxydes, des matériaux qui, à bien des égards, présentent des similitudes avec les peintures industrielles, tant en termes de gestion des fluides que de traitement thermique.

Avec l'introduction des moteurs *hairpin*, caractérisés par des barres de cuivre profilées au lieu des fils traditionnels, le processus a encore évolué. La géométrie plus complexe a nécessité un contrôle encore plus précis des paramètres d'impregnation, car la distribution de la résine et la pénétration dans les nouveaux espaces sont plus critiques.

Pour relever ce défi, une collaboration de recherche a été lancée avec l'École polytechnique de Milan, dans le but d'analyser scientifiquement l'influence des différents paramètres sur la qualité de l'impregnation et la vitesse du cycle. Ce travail a fourni une base théorique solide, qui s'est traduite par des critères de conception plus avancés et des solutions technologiques optimisées.

Cette évolution a donné naissance à une nouvelle génération d'installations, conçues pour offrir une plus grande flexibilité de processus. La machine développée, baptisée *U-Line* et brevetée entre 2018 et 2020, comme l'implant modulaire, dernière évolution, également brevetée, permet d'adapter plus facilement le cycle à différents types de stators et aux évolutions constantes du produit. En plus de garantir des normes de qualité élevées en matière d'impregnation, il permet d'intervenir sur les paramètres sans avoir à repenser entièrement l'installation, répondant ainsi efficacement à la variabilité croissante du marché mondial des moteurs électriques.