



© Tekal

HIGH-PERFORMANCE ENGINES: THE IMPORTANCE OF CLEANING CAVITIES AND PASSAGEWAYS IN CYLINDER HEADS

Motori di alta gamma: l'importanza del lavaggio delle complesse intercapedini nelle teste cilindri

Luca Antolini
ipcm®

Opening photo:
Tekal, company of the
Mazzucconi Group,
produces suspensions,
engine blocks and
cylinder heads.

Foto d'apertura:
Tekal, azienda del
Gruppo Mazzucconi,
produce sospensioni,
basamenti motore e
teste cilindri.

The increasingly complex mechanical design of cylinder heads of automotive engines on mid to high-end cars poses new challenges to companies specialised in their production on behalf of automobile manufacturers. The task lies not only in casting and machining these components, but also in complying with contractor's specifications regarding residual contamination, which are directly linked to safety standards.

This is the case of the Mazzucconi Group, a historic Italian company that has recently installed at one of its centres of operation, Tekal, two AQUAROLL® washing systems produced by STS Srl with the goal of improving the quality of inter-operational washing procedure that precedes the leak tests and delivery of the components to its customers, i.e., companies that will perform the machining and assembly – before final washing – of the automotive components.

L'aumento della complessità meccanica delle teste cilindri dei motori per automobili di media e alta fascia pone delle nuove sfide alle aziende specializzate nella loro produzione per conto delle case automobilistiche. La difficoltà non risiede soltanto nella fusione e lavorazione di questi manufatti, ma anche nel rispetto delle specifiche di contaminazione residua che sono imposte dai committenti, direttamente collegate agli standard di sicurezza.

È questo il caso del Gruppo Mazzucconi, storica azienda italiana che ha recentemente installato presso Tekal, una delle sue sedi operative, due macchine di lavaggio AQUAROLL® di STS Srl, con l'obiettivo di migliorare la qualità del lavaggio interoperazionale che precede le prove di tenuta e la successiva consegna dei manufatti ai propri clienti, ossia le aziende che si occuperanno delle lavorazioni meccaniche e dell'assemblaggio - previo lavaggio finale - dei componenti auto.



The greatest risk for this type of mechanical component is machining residues, especially sand from casting and metal shavings, which should be effectively removed so as not to affect test results and make final washing even more difficult to the extent of causing damage to the engine if they are still present when the engine starts operation.

For over a century Mazzucconi has operated in the casting and metal machining sector for the production of automotive components destined to some of the largest international OEM companies. The group, which is headquartered in Ponte San Pietro (Bergamo, Italy), has four production facilities in Italy.

Mazzucconi's strength lies in creating a strong synergy between product development and the production process. At the helm of the company is the Mazzucconi family, who started their metal working activity in 1905.

Between the 1970s and 1980s the automotive sector became the core business of the company and it started specialising in the production of engine cylinder heads, steering boxes and gearboxes. It founded Valbrem S.p.A., company dedicated to the production of wheels, and opened the plant in Ambivere dedicated to die casting productions.

In 1990s with the acquisition of Tekal from San Giovanni Teatino (Chieti, Italy), Rono based in Almenno San Bartolomeo (Bergamo, Italy), and Fonderia San Possidonio from San Possidonio (Modena, Italy), the Mazzucconi Group was born.

In 2000, the first projects got underway. They included, in addition to machining, full assembly of complex units, such as cylinder heads (Ref. opening photo). Despite the many difficulties as a result of the global economic crisis, new and important productions of suspensions and engine blocks using low pressure casting were started. After weathering the recession

Il rischio maggiore per questo tipo di componenti meccanici è infatti rappresentato dai residui di lavorazione, soprattutto sabbia di fusione e trucioli, che se non rimossi adeguatamente possono compromettere l'esito delle prove, rendere ancora più difficoltoso il lavaggio finale fino a provocare il danneggiamento del motore, nel caso siano ancora presenti quando questo entra in funzione.

Da più di un secolo Mazzucconi opera nel settore della fusione e della lavorazione dei metalli per la produzione di componenti auto destinati ad alcuni tra i più grandi OEM internazionali. Il gruppo, che ha sede a Ponte San Pietro (Bergamo), può contare su quattro stabilimenti produttivi in Italia.

La forza di Mazzucconi risiede nella creazione di una forte sinergia tra sviluppo del prodotto e processo produttivo. Alla guida dell'azienda c'è la famiglia Mazzucconi, che inizia nel 1905 la propria attività nella lavorazione dei metalli. Tra gli anni '70 e '80, il settore

automotive diventa il *core business* della società e l'azienda si specializza nella produzione di teste motore, scatole sterzo e scatole cambio. Fonda la Valbrem S.p.A., azienda dedicata alla produzione delle ruote, e apre lo stabilimento di Ambivere, dedicato alle produzioni in pressofusione. Negli anni '90, con l'acquisizione delle società Tekal, di San Giovanni Teatino (Chieti), Rono, di Almenno San Bartolomeo (Bergamo), e Fonderia San Possidonio, di San Possidonio (Modena), nasce il Gruppo Mazzucconi. Nel 2000, partono i primi progetti che prevedono, oltre alla lavorazione meccanica, anche l'assemblaggio completo di aggregati complessi, come le teste cilindri (rif. foto d'apertura).

Malgrado le innumerevoli difficoltà durante la crisi economica globale, vengono avviate nuove importanti produzioni di componenti per le sospensioni e dei basamenti motore fusi in bassa pressione. Superati con successo gli anni della crisi - il 2015 si è chiuso con un fatturato di 160 milioni di euro - si apre una nuova fase di sviluppo,



1

From left: Giovanni Campanini and Fabrizio Morizio, Tekal.

Da sinistra: Giovanni Campanini e Fabrizio Morizio, Tekal.

HIGH-PERFORMANCE ENGINES: THE IMPORTANCE OF CLEANING CAVITIES AND PASSAGEWAYS IN CYLINDER HEADS

successfully - 2015 closed with a turnover of 160 million euros - a new stage of development began, with many new job orders, new customers and the start of production of cores using the inorganic process, a completely new technology which only few foundries around the world are able to manage for large-series productions. Tekal was a small die-casting foundry that worked prevalently for Fiat. After its acquisition by the Mazzucconi Group in the middle of 1990s, it started the production



con l'acquisizione di numerose nuove commesse e nuovi clienti, e inizia inoltre la produzione di anime prodotte con il processo inorganico, una tecnologia del tutto nuova, che solo poche fonderie al mondo sono in grado di

gestire per produzioni di grande serie.

Tekal era una piccola fonderia di pressocolata che lavorava prevalentemente per Fiat. Dopo la sua acquisizione da parte del Gruppo Mazzucconi a metà degli anni '90, ha avviato la produzione di teste cilindri destinate ai motori benzina 16 valvole per lo stabilimento di FMA (ora FCA) di Prato-

2

A cylinder head.

Una testa cilindro.

3

One of the two rotational washing systems produced by STS Srl.

Una delle due macchine di lavaggio rotazionali prodotte da STS Srl.

of cylinder heads for 16-valve petrol-powered engines for the FMA factory (now FCA) in Pratola Serra. At the start of the 2000s, production of cylinder heads for the first 8-valve JTD diesel – followed by 16-valve - engines got underway. Presently, Tekal counts among its customers – besides FCA Group – relevant automobile manufacturers like Volvo and BMW.

la Serra. All'inizio degli anni 2000, inizia anche la produzione delle teste per i primi motori diesel JTD a 8 valvole e successivamente a 16 valvole. Attualmente Tekal annovera tra i suoi clienti, oltre al Gruppo FCA, case automobilistiche importanti come Volvo e BMW.

4

The washing machines installed at Tekal are part of the AQUAROLL® series from STS.

Le macchine di lavaggio installate presso Tekal fanno parte della serie AQUAROLL® di STS.

For the production of castings, Tekal uses two processes: low pressure die casting technology used for the production of suspension components and crankcases, and gravity die casting with the latest generation tilting technology for the production of cylinder heads. The patented tilting process ensures the achievement of higher levels of mechanical properties - required for today's high performance engines.

Tekal utilizza per la produzione dei getti due processi: il processo della colata in bassa pressione, tecnologia utilizzata per la produzione dei componenti sospensione e di sottobasamenti motore, e il processo della colata a gravità con tecnologia basculante di ultima generazione per la produzione delle teste cilindro. Il processo basculante brevettato garantisce il raggiungimento dei più elevati livelli di caratteristiche meccaniche oggi richiesti per i motori ad alte prestazioni. La materia prima utilizzata è costituita da leghe di alluminio e silicio la cui composizio-





From 25 kHz to 1 MHz: we offer you the ideal components whatever your needs))

The Weber Ultrasonics brand sets new standards in the development and manufacture of high-quality ultrasonic components. The comprehensive range of products combines innovation with the highest quality and impressive efficiency – simply the perfect solution for every cleaning task. See for yourself.

www.weber-ultrasonics.com

The raw material used is made of alloys of aluminium and silicon - its composition may vary depending on the content of silicon and various other alloying elements (copper, magnesium, manganese and other components).

"To obtain the morphology of the cylinder heads we insert into the mould a "sand core", a mixture of sand and other components like resins and catalyser," starts out Fabrizio Morizio (**Fig. 1**), Manager of the Technical Department at Tekal. "The presence of these sand cores allows to create every passageway in the casting, like cavities for water, suction and exhaust ducts, and the oil compartment, typical features of a cylinder head." (**Fig. 2**)

The process continues with the removal of the sand from the parts by means of desanding. "The desanding is a mechanical process that uses mechanised hammers to hammer on the parts of the casting outside the moulding area and disintegrate the sand inside, which is then evacuated by means of vibration," states Giovanni Campanini, Plant Manager at Tekal. After the removal of sand and surplus of aluminium outside the moulding area, the result is an unfinished component that, while approaching the final geometry of the part, is not in its final configuration and needs further treatment and machining.

ne può variare a seconda del contenuto di silicio e dei vari altri alliganti (rame, magnesio, manganese e altri componenti).

"La morfologia delle teste cilindri è ottenuta con l'inserimento nello stampo di una forma in sabbia - denominata "anima" - che è costituita da un mix di sabbia e di altri componenti quali resine e catalizzatore", esordisce Fabrizio Morizio (**fig. 1**), Responsabile Ufficio Tecnico di Tekal. "La presenza delle anime permette di creare nella fusione tutti quei passaggi quali quelli dell'intercapedine acqua, dei condotti di aspirazione e scarico oltre che del vano olio, caratteristici di una testa cilindro" (**fig. 2**).

Il processo prosegue con la rimozione della sabbia dalle parti per mezzo della sterratura. "Quello della sterratura è un processo meccanico che permette, tramite l'utilizzo di martelli meccanizzati che battono sulle parti non di figura della fusione, di sgretolare la sabbia presente al suo interno, poi evacuata tramite vibrazione", afferma Giovanni Campanini, Direttore di Stabilimento di Tekal. A seguito della rimozione della sabbia, dei montanti e delle eccedenze di alluminio fuori figura, si ottiene un manufatto grezzo che, sebbene si avvicini alla geometria finale del pezzo, non è ancora nella sua configurazione definitiva e necessita di ulteriori trattamenti e lavorazioni meccaniche.

"Thermal treatments are critical for providing the component with the required mechanical characteristics," continues Campanini. "The machining process carried out at Tekal, followed up by the very important cleaning phase, is essentially a rough machining operation of the six external surfaces – a process named "cubatura". This process allows performing one of the most important test for cylinder heads: the leak test".

"The thermal treatment include operations like controlled heating and cooling, carried out on a solid form alloy: the final aim consists of the modification of metallurgic microstructure and features. The most common thermal treatment for aluminium alloys, identified with T6, is divided in three stages: solubilisation, tempering and artificial ageing", states Campanini. "In the solubilisation stage, the aluminium alloys are kept at a temperature around 500°C or higher, for enough time in order to modify the metallurgic structure. The two following stages, tempering - rapid cooling in cold water - and artificial ageing - heating at temperatures from 160°C to 200°C - together with the solubilisation, enhance the mechanical properties of the casting (yield strength, breaking loads and hardness) through the structural hardening occurring during the entire process".

"The 'cubatura' operation essentially involves the rough machining of the six external surfaces of the cylinder heads in order to remove the excess of metal and allow the leak test", continues Campanini. "This 'cubatura' step produces aluminium shavings that remain inside the castings together with the processing emulsions: Both these contaminants must be efficiently removed."

"The 'cubatura' operation essentially involves the rough machining of the six external surfaces of the cylinder heads in order to remove the excess of metal and allow the leak test", continues Campanini. "This 'cubatura' step produces aluminium shavings that remain inside the castings together with the processing emulsions: Both these contaminants must be efficiently removed."

Cleaning: residue removal and compliance with cleaning specifications

The inter-operational cleaning phase comes before the leak test. "Cleaning the cylinder heads is important for

"I trattamenti termici sono fondamentali per attribuire al componente le caratteristiche meccaniche richieste", prosegue Campanini. "La lavorazione meccanica eseguita in Tekal, seguita dalla fondamentale fase di lavaggio, è un'operazione sostanzialmente di sgrossatura delle sei superfici esterne - operazione che prende il nome di "cubatura" - che permette di eseguire uno dei controlli più importanti per un prodotto come la testa cilindri, ossia la prova tenuta".

"Il trattamento termico è un insieme di operazioni di riscaldamento e raffreddamento controllato, eseguite su

una lega allo stato solido, il cui fine è quello di modificarne la microstruttura metallurgica e, di conseguenza, alcune proprietà. Per le leghe di alluminio, il trattamento termico più comune, identificato con la sigla T6, è suddiviso in 3 fasi: solubilizzazione, tempra ed invecchiamento artificiale", dichiara Campanini. "La fase di solubilizzazione consiste nella permanenza della lega ad una temperatura intorno o superiore ai 500°C per un tempo tale da modificarne la struttura metallurgica. Le due fasi successive, quella della tempra, ossia del rapido raffreddamento in acqua fredda, e quella dell'invecchiamento artificiale, un riscaldamento a temperature che possono variare dai 160°C ai 200°C, unitamente alla fase di solubilizzazione permetto-

no alla fusione di migliorare le caratteristiche meccaniche - prime fra tutte resistenze allo snervamento, carichi di rottura e durezza - attraverso un indurimento strutturale che si verifica durante l'intero processo".

"Le operazioni di 'cubatura' consistono sostanzialmente nella sgrossatura delle 6 superfici esterne delle teste cilindri per rimuovere parte del sovrametallo e permettere l'esecuzione della prova tenuta", prosegue Campanini. "Questa operazione di cubatura genera trucioli di alluminio residui che rimangono all'interno dei getti, oltre ai residui delle emulsioni utilizzate durante la lavorazione: entrambi questi contaminanti devono essere efficacemente rimossi".

Lavaggio: rimozione dei residui e rispetto delle specifiche di pulizia

La fase di lavaggio interoperazionale interviene prima dell'esecuzione della prova di tenuta.



5

In the new washing machines, the component is never fully immersed in water but rotates constantly in the bath.

Nelle nuove macchine di lavaggio, il pezzo non è mai completamente immerso in acqua ma ruota continuamente nel bagno.



several reasons," explains Campanini. "The mechanical engineering companies we count as our customers will accept a maximum residual contamination that is generally of a few hundred of mg. Many of them also specify the maximum size of the shavings, a factor that further complicates the cleaning phase. The level of cleaning of the components leaving the Tekal factory is fundamental so that the final cleaning performed by our customer in-house, after machining processes, is as efficient as possible."

In addition to the emulsions and shavings, the components may also have sand residues from the desanding process: these are two inorganic contaminants that can affect the tightness of the piece and the operation of the engine. "The shavings can interfere with the sealing of the gaskets during the leak test, obstruct the passageways inside the cylinder heads – a problem that can block or change the circulation of the cooling liquid, with risk of engine meltdown, or damage other components connected to the engine cooling system" states Campanini.

In the past Tekal has used different cleaning systems, including water washing tunnels dedicated to each individual robotic units and compressed air blowing stations."

"We tried different systems, for example washers with directional nozzles, or with matrixes with directional holes, through to implementing a completely different system: blowing" says Morizio, "where jets of compressed air perform the cleaning. It is a convenient and simple system but it has to be calibrated according to the increasingly complex geometry of cavities in cylinder heads, with passageways sections for water increasingly smaller."

The demand for more efficient cleaning for all product lines is prompted by the constant increase in the complexity of cylinder heads and the need to comply with ever greater margins with the cleaning requirements of customers. Tekal then decided to install

"Il lavaggio delle teste motore è importante per diversi motivi", spiega Campanini. "Le aziende meccaniche nostre clienti richiedono in accettazione una quantità di contaminazione residua massima che generalmente è di poche centinaia di milligrammi. Molti di loro specificano anche la dimensione massima del truciolo, fattore che complica ulteriormente la fase di lavaggio. Il livello di pulizia dei manufatti in uscita dallo stabilimento Tekal è basilare affinché il lavaggio finale effettuato dal nostro cliente al suo interno, dopo le lavorazioni meccaniche, sia quanto più possibile efficace".

Oltre alle emulsioni e ai trucioli di lavorazione, i manufatti possono presentare anche residui di sabbia post-sterratura: sono questi due contaminanti inorganici che possono compromettere sia la tenuta del pezzo sia il funzionamento del motore. "I trucioli possono interferire nella chiusura delle guarnizioni durante l'operazione di prova tenuta, ostruire i passaggi all'interno delle teste, problema che può bloccare o alterare la circolazione del liquido di raffreddamento con il rischio di fusione del motore, oppure danneggiare altri organi collegati al circuito di raffreddamento del motore", afferma Campanini.

In passato Tekal ha utilizzato diversi sistemi di pulizia, fra cui tunnel di lavaggio ad acqua in dotazione alle singole isole robotizzate e stazioni di soffiatura con aria compressa. "Abbiamo provato diversi sistemi, ad esempio lavatrici con ugelli direzionali, con matrici con fori direzionali, fino a implementare un sistema completamente diverso, la soffiatura", dichiara Morizio, "in cui getti di aria compressa provvedono alla pulizia. È un sistema comodo e semplice ma che va tarato in funzione delle geometrie delle intercapedini delle teste cilindri, sempre più complesse e con sezioni di passaggio delle intercapedini acqua sempre più ridotte".

L'esigenza di un lavaggio più efficace per tutte le linee prodotto è nata dall'aumento costante della complessità delle teste cilindri e dalla necessità di rientrare con un margine maggiore all'interno dei requisiti di pulizia ri-



6

Shavings recovered from the washing bath.

Trucioli recuperati dal bagno di lavaggio.

6

two rotational washing systems produced by STS based in Ravenna (Italy), a supplier of washing systems and sodium bicarbonate-based products (**Figs. 3 and 4**). The two washing systems of the AQUAROLL® series use just water and sodium bicarbonate and make it possible to rotate the components completely for more efficient washing (**Fig. 5**).

7

A cylinder head inside the washing machine.

Una testa cilindro all'interno della macchina di lavaggio.

"We chose this type of machine for a variety of reasons," continues Morizio. "Their compact size allowed us to solve the space problems we had with the tunnel washing systems. The full rotation of the piece, moreover, can be programmed according to our needs: this is the real strong point of STS technology. As a washing agent we use hot water at 45-50° with sodium bicarbonate-based products, which allow better removal of the emulsions, and as a result the residues come off more easily. Also, the bicarbonate detergent doesn't "bond" with the contaminant, which remains separate and filtered. In this way the bath doesn't have to be replaced that frequently, so there is a significant savings of water and product. And the shavings are recovered" (**Fig. 6**).

8

The compact size of the STS AQUAROLL® machines allowed Tekal to solve space problems.

La compattezza delle macchine AQUAROLL® di STS ha consentito a Tekal di risolvere i problemi di spazio.

The configurability of the machines is another aspect that Tekal evaluated when selecting the supplier. "The STS washing machines allow us to customise the cycle on the basis of our needs," says Morizio. "Besides the washing and rinsing time, we can programme the quantity of water in the tank during each phase. The piece is never fully immersed in the water but rotates continuously in the

chiesti dai clienti. Tekal ha dunque deciso di installare due macchine di lavaggio rotazionali prodotte da STS, azienda di Ravenna (RA) fornitrice di impianti e prodotti per il lavaggio a base di bicarbonato di sodio (**figg. 3 e 4**).

Le due macchine di lavaggio, della serie AQUAROLL®, utilizzano soltanto acqua e bicarbonato di sodio e consentono di ruotare comple-

tamente i manufatti per un lavaggio più efficace (**fig. 5**).

"Abbiamo scelto questo tipo di macchine per svariati motivi", continua Morizio. "La loro compattezza ci ha consentito di risolvere i problemi di spazio che avevamo con le lavatrici a tunnel. La tipologia di rotazione completa del pezzo, inoltre, è programmabile a seconda delle nostre esigenze: questo è il vero punto di forza della tecnologia STS. Come agente di lavaggio usiamo acqua calda, a 45-50°C, con prodotti a base di bicarbonato di sodio, che consentono una migliore rimozione delle emulsioni e, di conseguenza, un distacco più facile dei residui. Inoltre, il detergente a base di bicarbonato non si "lega" al contaminante, che resta separato e filtrato. In questo modo il bagno non deve essere sostituito con grande frequenza, con un notevole risparmio di acqua e di prodotto. I trucioli, invece, sono recuperati" (**fig. 6**).

La configurabilità delle macchine è un altro aspetto che Tekal ha valutato nella scelta del fornitore. "Le macchine di

lavaggio di STS ci consentono di personalizzare il ciclo in base alle nostre esigenze", afferma Morizio. "È infatti possibile programmare, oltre al tempo di lavaggio e risciacquo, anche la quantità di acqua presente in vasca in ogni fase. Il pezzo non è mai completamente immerso in acqua ma ruota continuamente nel bagno. Le macchine





bath. The machines are very easy to configure and the maintenance costs are lower with respect to the washing machines we used in the past" (**Fig. 7 and 8**).

Of the two washing systems, one is currently being used specifically for the cleaning of cylinder heads and engine blocks for the new Alfa Romeo Giulia, whereas the other for the cylinder heads of the V6 diesel engines of FCA which are mounted on cars such as the Jeep® Grand Cherokee.

"Right now, during the washing cycle for products designated for the engines for Alfa Romeo Giulia, we wash two heads or a block, and includes washing, rinsing and drying with cold air blowing, which is done while the piece is still rotating," explains Morizio.

"The washing units are manually operated, but in case of a potential demand to increase productivity, we'll be able to automate them."

On the recommendation of the supplier, the STS machines have also been installed with a GSM module for remote assistance.

"We have been pleasantly surprised with this optional" continues Morizio.

"Thanks to the module STS can provide remote assistance in case of any problems.


This service has allowed us to avoid

connecting the machines themselves to the network.

What's more, STS guarantees us 24/7 assistance."

After washing, the leak tests and visual inspection take place, then the components are submitted – with the sampling method - to the residual dirt test, through a final "hammering" with small rubber hammers to check if there are still any residues (**Fig. 9**).

"From the tests performed, we have verified that compared to the past washing quality is clearly improved and conforms to the cleaning specifications of the customer with even wider margins," states Campanini.

"The level of final cleaning is definitely improved, in terms of amount of residual dirt and shaving dimensions." 

sono molto semplici da configurare e i costi di manutenzione sono più bassi rispetto alle lavatrici che utilizzavamo in passato" (**figg. 7 e 8**).

Delle due macchine di lavaggio, una è attualmente utilizzata specificatamente per la pulizia delle teste cilindri e dei basamenti destinati ai motori V6 benzina che equipaggeranno le nuove Alfa Romeo Giulia, mentre l'altra per le teste cilindri dei motori diesel V6 di FCA, che sono montati su auto come la Jeep® Grand Cherokee.

"Attualmente il ciclo di lavaggio per i prodotti destinati ai motori di Alfa Romeo Giulia prevede di processare due teste oppure un basamento, e comprende lavaggio, risciacquo e asciugatura con soffiaggio di aria fredda, che avviene mentre il pezzo sta ancora ruotando", spiega Morizio. "Le isole di lavaggio sono asservite manualmente, ma in vista di possibili richieste di aumento della produttività, sarà possibile automatizzarle".

Sulle macchine di STS è stato inoltre installato, su iniziativa del fornitore, un modulo GSM per l'assistenza remota.

"Siamo rimasti piacevolmente sorpresi da questo optional", continua Morizio, "tramite il quale STS ci può fornire assistenza anche in remoto in caso di problemi. Questo servizio ci ha evitato di collegare autonomamente le macchine alla rete. Inoltre, STS ci garantisce assistenza 24 ore su



9
A block submitted to the leak test.

Un basamento sottoposto alla prova tenuta.

24, 7 giorni su 7".

Dopo il lavaggio, le prove di tenuta e la successiva ispezione visiva, i manufatti sono sottoposti a campione alla verifica dello sporco residuo tramite una "battitura" finale con martelletti in gomma per verificare la presenza di eventuali residui (**fig. 9**).

"Dalle prove effettuate, abbiamo verificato che la qualità del lavaggio, rispetto al passato, è nettamente migliorata, garantendo le specifiche di pulizia richieste dal cliente con margini ancora più ampi", afferma Campanini. "Il livello di pulizia finale è decisamente migliorato sia a livello di quantità di sporco residuo che di dimensione del truciolo". 