UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica

SCELTA E CARATTERIZZAZIONE DI UN RIPORTO ANTIUSURA SPECIFICO PER UTENSILI INSTALLATI SU MACCHINE AGRICOLE EFFETTUATO MEDIANTE TECNICA DI TERMOSPRUZZATURA A FREDDO E SALDOBRASATURA

SELECTION AND CHARACTERISATION OF A SPECIFIC ANTI-WEAR COATING FOR TOOLS INSTALLED ON AGRICULTURAL MACHINES BY COLD THERMAL-SPRAY AND HARDFACING

Relatore: Chiar.mo/a

Prof. Ing. Archimede Forcellese

Correlatore:

Ing. Fabio Santilli

Tesi di Laurea di:

Riccardo Daniele

A.A. 2021/ 2022

Sessione estiva

Indice

Prefazione_____6

1 Capitolo 1 Introduzione_____8

1.1 Macchine agricole

1.1.1 Vangatrici

1.1.2 Fresatrici

1.1.3 Erpici

1.2 Thermal Spray & Hardfacing

1.2.1 Tecniche

1.2.2 Applicazioni

2 Capitolo 2 Attrezzatura_____25

2.1 Componenti principali di utilizzo

2.1.1 Impianto di alimentazione

2.1.2 Pistola

2.1.3 Sistemi di protezione e sicurezza

2.1.4 Robot

2.2 Implementazione

2.2.1 Trascinamento filo

2.2.2 Tavola rotante

2.3 Provini

3 Capitolo 3 Tecniche di prova e procedure utilizzate_____32

3.1 Termospruzzatura tramite filo metallico

3.1.1 Deumidificazione

3.1.2 Sabbiatura

3.1.3 Parametri di processo

3.1.4 Aggrappante

3.1.5 Applicazione del rivestimento antiusura

3.2 Termospruzzatura tramite polvere

3.2.1 Processo

3.2.2 Pistola e sistemi di protezione

3.2.3 *Parametri di processo*

3.3 Hardfacing

3.3.1 Processo

3.3.2 Pistola e sistemi di protezione

3.3.3 *Parametri di processo*

3.4 Prove di aderenza

3.5 Prove di durezza

3.5.1 Brinell HB

3.5.2 Rockwell HRC/HRB

3.5.3 Vickers HV

3.6 Prove di durata

4 Capitolo 4 Risultati_____50

5 Capitolo 5 Conclusioni_____53

Abstract

La *Termospruzzatura* e la *saldobrasatura* sono delle tecniche industriali che, sebbene non recenti, mostrano continuamente nuovi margini di sviluppo.

Nel presente studio andremo a verificare le prestazioni dei rivestimenti metallici in carburo di tungsteno; in particolare, sono ricercate le correlazioni tra i rivestimenti, la durata e l'aderenza degli stessi, misurate mediante opportune prove.

Abstract (English)

Thermal-Spray and *Hardafcing* are an industrial techniques which, although not recent, continually shows new margins for development.

In this study we will verify the performance of the metal coatings in tungsten carbide; in particular, the correlations between the coatings, their durability and adherence are sought, measured by appropriate tests.

Prefazione

L'usura è definita come la perdita progressiva di materiale da una delle superfici o da entrambe le superfici a contatto ed in moto relativo tra loro; questo rappresenta uno delle principali cause di messa fuori servizio di un componente meccanico e per tale motivo è necessario prevenirla o, quantomeno, ridurla anche mediante sistemi di rivestimento alternativi ai tradizionali di frequente utilizzo.

Nel presente studio, mediante tecniche di Hardfacing e Thermal Spray, si applicheranno strati di carburo di tungsteno sul tagliente di utensili agricoli come vanghe, zappe e denti allo scopo di creare un rivestimento antiusura capace di incrementarne la durata e quindi la vita.

Figura 1 - Termospruzzatura di un componente meccanico

Questi processi tecnologici rappresentano, su diversi settori industriali, un'alternativa preferibile ad altre tecniche, come per esempio la saldatura o i rivestimenti a caldo, in quanto:

- permettono di rinnovare prodotti danneggiati e/o usurati, ricoprendoli con nuovo materiale di rivestimento e riportandoli alle dimensioni iniziali;

- consentono di applicare uno strato aggiuntivo a prodotti sottodimensionati implicando meno scarti;
- si ha una riduzione dei costi poiché è possibile ricoprire solo superficialmente un materiale dalle proprietà minori con costosi strati di materiale dalle qualità migliori, come durezza, resistenza agli urti, resistenza alle alte temperature ecc.

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Macchine agricole

Una macchina agricola è una macchina utilizzata per lo svolgimento di lavori agricoli. La macchina agricola più comune, il **trattore** agricolo, detto anche **trattrice** agricola, è un mezzo utilizzato nel settore dell'agricoltura per trainare rimorchi o agganciare attrezzature specifiche per lavorare il terreno.

Figura 2 - Trattore agricolo

Il trattore, nato nel 1889 negli Stati Uniti d'America e definito "**centrale mobile di potenza"**, è stata la migliore invenzione per il settore agricolo migliorandosi e completandosi anno per anno permettendogli di essere indispensabile per il lavoro del terreno. Il trattore moderno, oltre ad offrire ogni tipo di comfort per l'operatore che lo utilizza, limita anche gli interventi pericolosi e faticosi di quest'ultimo. Al giorno d'oggi sono presenti nuovi dispostivi e organi che hanno permesso al trattore di diventare la macchina agricola per eccellenza.

I primi trattori agricoli furono le locomobili a vapore, successivamente furono inventati i trattori a diesel. [1]

La combinazione tra attrezzature e trattore avviene attraverso un meccanismo chiamato **attacco a 3 punti** che permette l'aggancio.

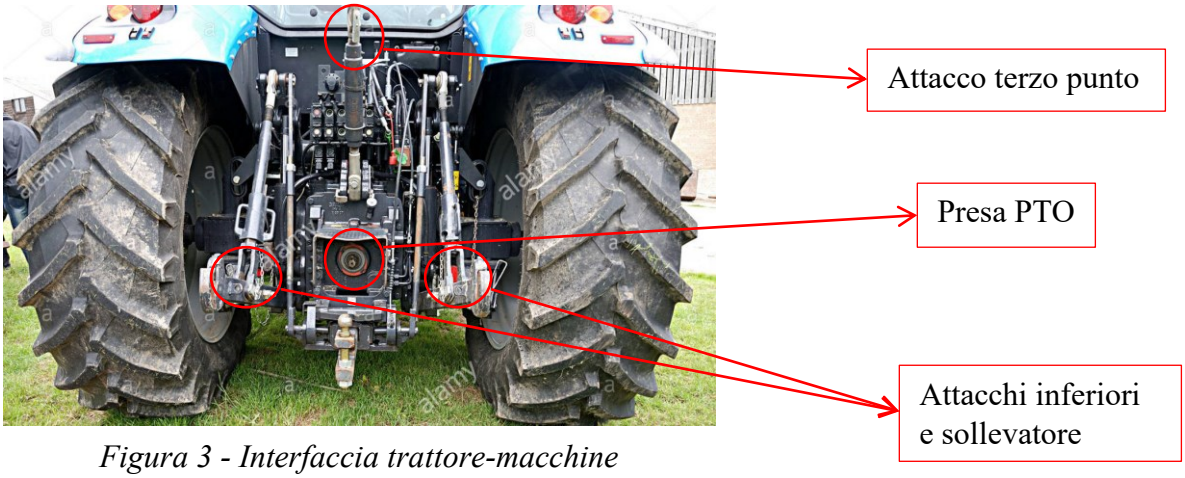
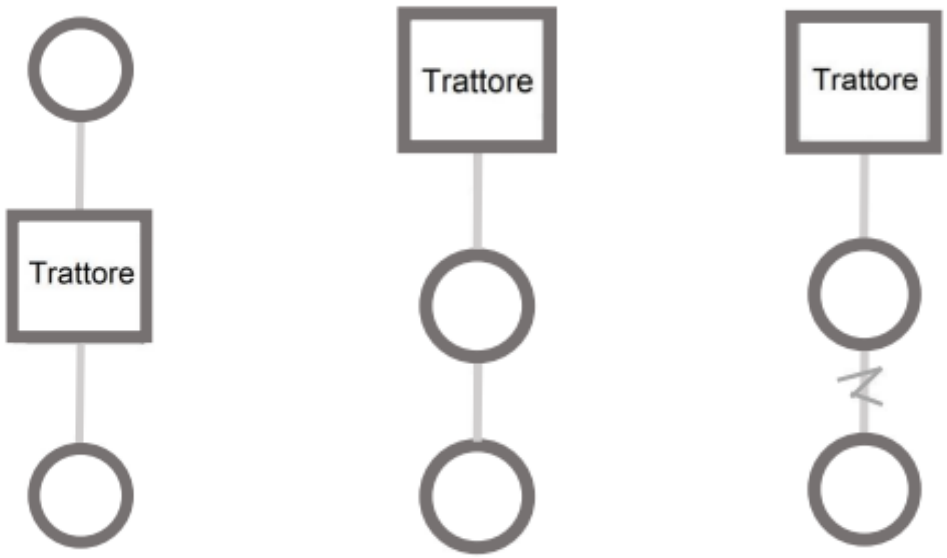


Figura 3 - Interfaccia trattore-macchine

Di queste combinazioni tra macchine e attrezzature ne distinguiamo 3 tipologie:



Anteriormente e posteriormente al trattore, con PTO	Posteriormente al trattore, con PTO	Posteriormente al trattore, senza PTO
Anteriormente: Trincia **Posteriormente**: Vanga, fresa, erpice	**Prima macchina**: Vanga, fresa, erpice **Seconda macchina**: Erpice, seminatrice	**Prima macchina**: Vanga, fresa, erpice **Seconda macchina**: Rulli

Figura 4 - Combinazione macchine

I rulli sono complementi alle macchine agricole e donano al terreno una finitura migliore.

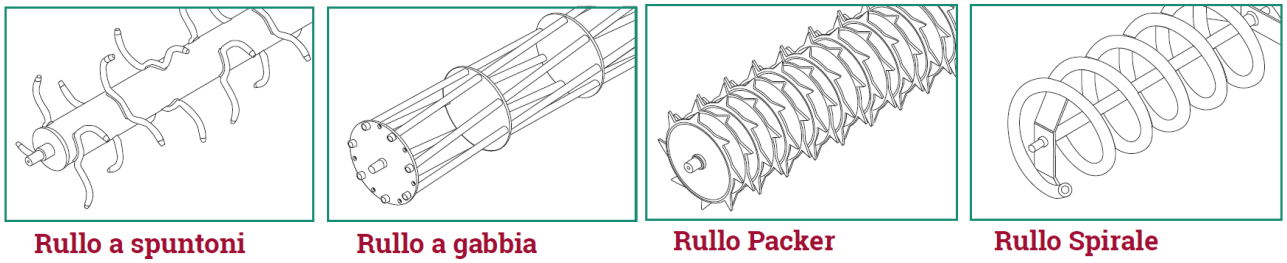


Figura 5 - Rulli

1.1.1 Vangatrici

La vangatrice è una macchina agricola ad asse orizzontale adatta a tagliare il terreno in piccoli blocchi, che verranno successivamente sminuzzati, attraverso l'utilizzo di utensili taglienti chiamati **vanghe.**

Esempio di serie 505

Esempio di serie 001

Le vangatrici, oltre ad avere diverse dimensioni e numero di vanghette che lavorano, hanno anche una velocità di avanzamento che varia in relazione a:

- Velocità trattore
- Condizioni del terreno
- Finitura richiesta

Possono raggiungere una velocità massima di 3 - 4 Km/h con una media di 0,4 – 1,5 Km/h per una finitura ottimale. Se superate queste velocità si ha il rischio di provocare urti della vanga con conseguenti rotture.
La differenza sostanziale della vangatrice con altre macchine agricole è quella di poter lavorare il terreno anche se molto umido.

Le vanghette sono organi oscillatori che si muovono mediante un meccanismo a quadrilatero articolato collegato al **telaio** composto da robuste lamiere e tubi in acciaio strutturale.

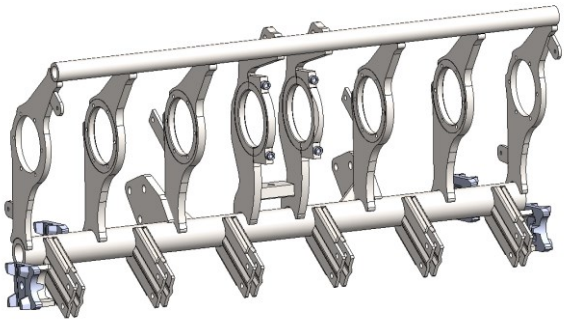
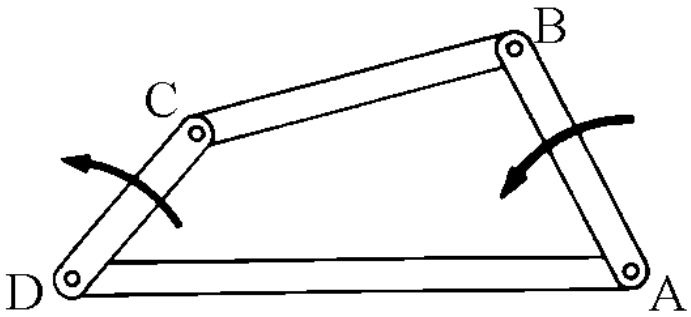


Figura 6 - Telaio

I grandi fori centrali ospitano l'alloggiamento dei cuscinetti, che sostengono l'albero a gomiti da cui parte il collegamento con le vanghe.

1.1.1.1 Meccanismo a quadrilatero articolato



Cerniera C: testa di biella
Biella B: piatto porta vanga
Manovella D: gomito
Bilanciere A: porta supporto

I gomiti hanno una velocità di rotazione tra i 100 e i 200 giri/min, a seconda del rapporto scelto.

1.1.1.2 Organi di livellamento e guida del terreno

Porta: livella il terreno, contiene fuoriuscite di terra, NON regolabile

Rastrello: contribuisce alla disgregazione delle zolle, contiene la fuoriuscita di terra, può essere fisso o regolabile

Slitte: regolabili tramite perno

Ruote: sono regolabili mediante martinetto idraulico o a vite senza fine

1.1.1.3 Vanghe

Le vanghette costituiscono l'elemento più importante delle vangatrici e sono anche i componenti che si usurano di più. Le caratteristiche principali delle vanghette sono:

- Acciaio al boro temprato in acqua;
- Realizzate in un unico pezzo.

Possono essere divise anche in base al peso: leggere, medie e pesanti.

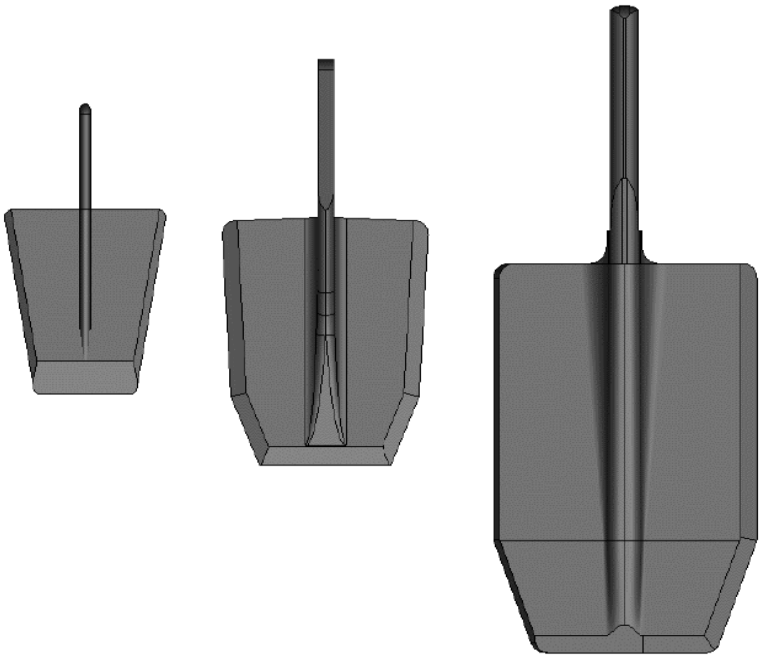


Figura 7 - Vanghe di diverse dimensioni e peso

1.1.2 Fresatrici

La fresatrice è una macchina agricola attua a sminuzzare il terreno dopo il passaggio della vangatrice attraverso l'utilizzo di utensili taglienti chiamati **zappe** o **lame.**

Esempio di serie T5

Esempio di serie S1P

Le fresatrici si dividono in base allo spostamento che possono effettuare:

Sx: fresatrice con spostamento manuale a vite (30-40 cm) su asse di trasmissione esagonale;

SxE: fresatrice con ampio spostamento (40-60 cm) su asse di trasmissione esagonale, che può essere sia manuale a vite o comandato dal trattore con pistone idraulico;

SxP: fresatrice con spostamento su barra cromata (30 cm circa) comandato dal trattore con pistone idraulico.

Le velocità di lavoro delle fresatrici avvengono in funzione del terreno che si vuole ottenere raggiungendo valori massimi di 10 Km/h.

1.1.2.1 Elementi costruttivi

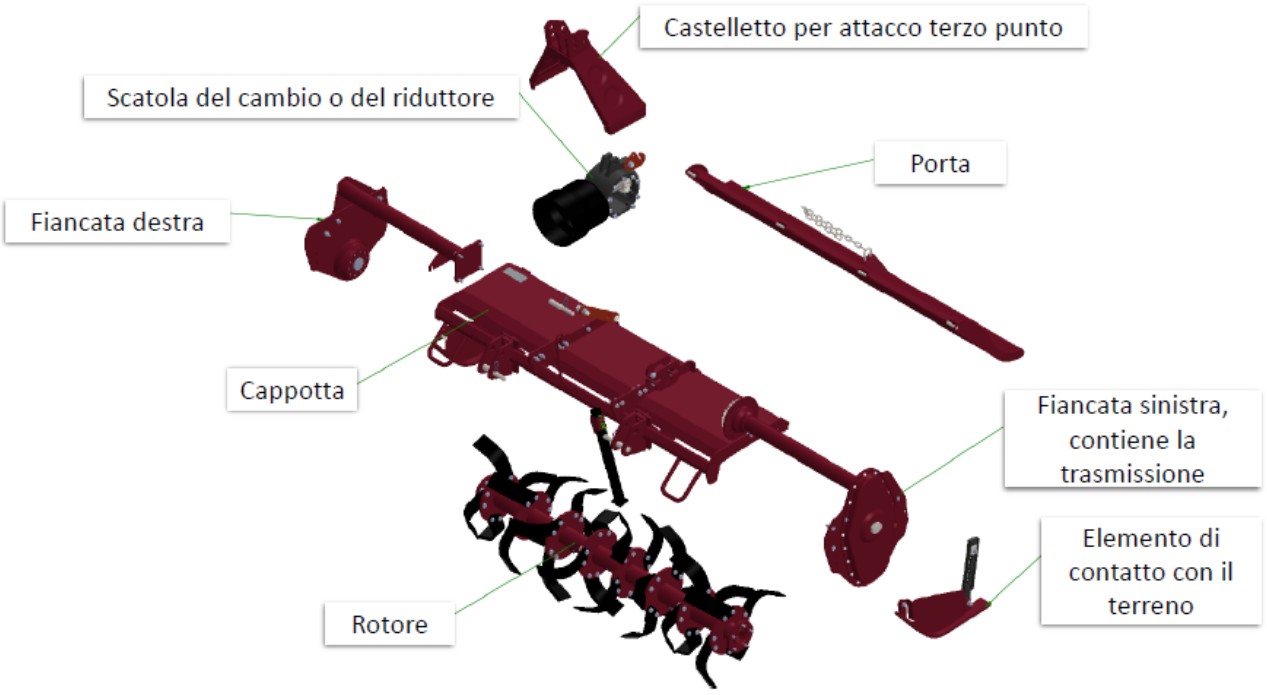


Figura 8 - Elementi costruttivi

1.1.2.2 Principio di funzionamento

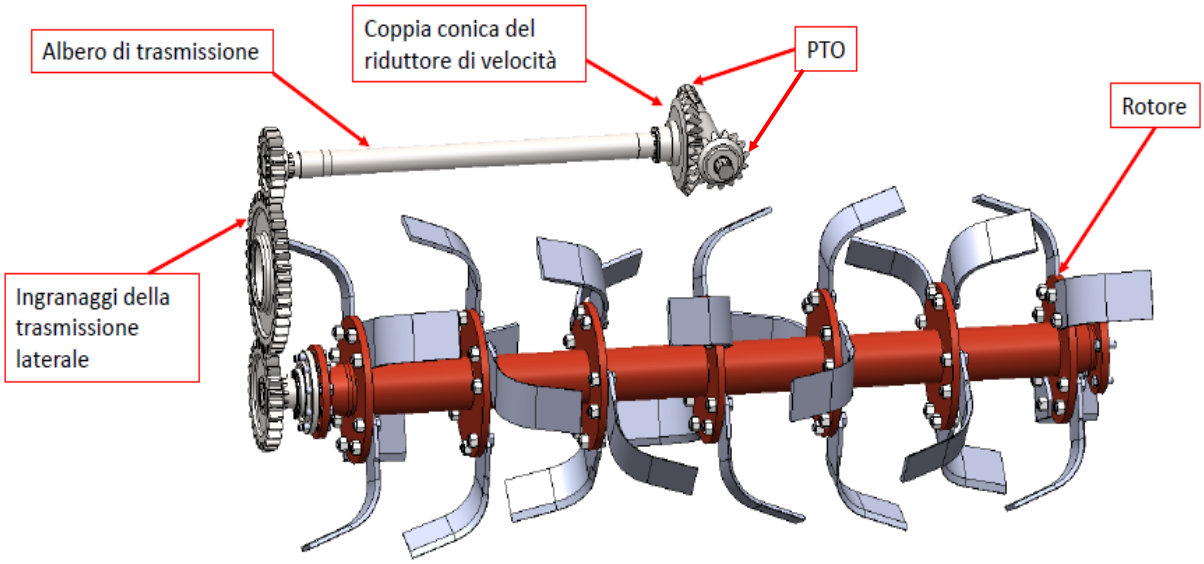


Figura 9 - Funzionamento

Dal PTO collegato al trattore, e utilizzando una trasmissione ad ingranaggi, viene trasferito il moto dall'albero di trasmissione all'albero motore che genera un movimento rotatorio degli utensili taglienti in grado di sminuzzare il terreno precedentemente vangato.

1.1.2.3 Utensili

Come le vanghe per le vangatrici, le zappe e le lame per le fresatrici sono gli elementi più importanti e quelli che si usurano di più. Sono loro su cui andremo a depositare lo strato di indurimento per verificarne l'aumento della durata.

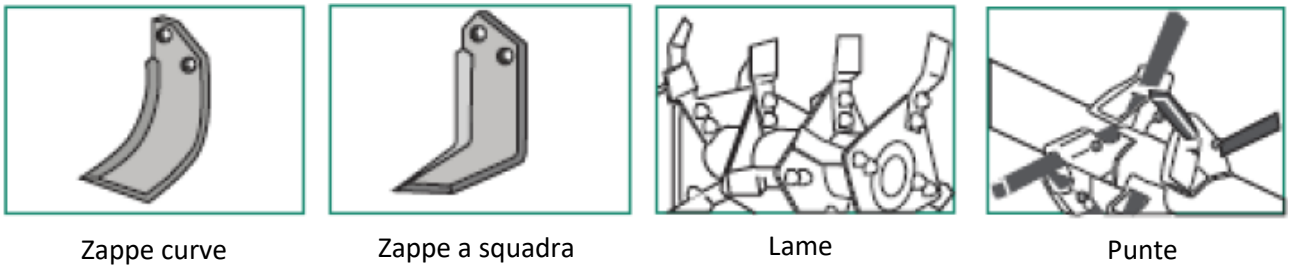


Figura 10 - Utensili fresatrici

1.1.2 Erpici

L'erpice è una macchina agricola portata o trainata dal trattore agricolo ed impiegata per lavori agricoli, ha una funzione di rifinitura e ha lo scopo di preparare il terreno alla semina mediante l'utilizzo di utensili taglienti chiamati **denti.**

Figura 11 - Erpice

Come per le fresatrici, anche per gli erpici la velocità di lavoro dipende dalla finitura del terreno che si vuole ottenere. Per evitare rotture dell'attrezzo, la velocità del trattore non deve superare gli 8 Km/h.

1.1.2.1 Elementi costruttivi

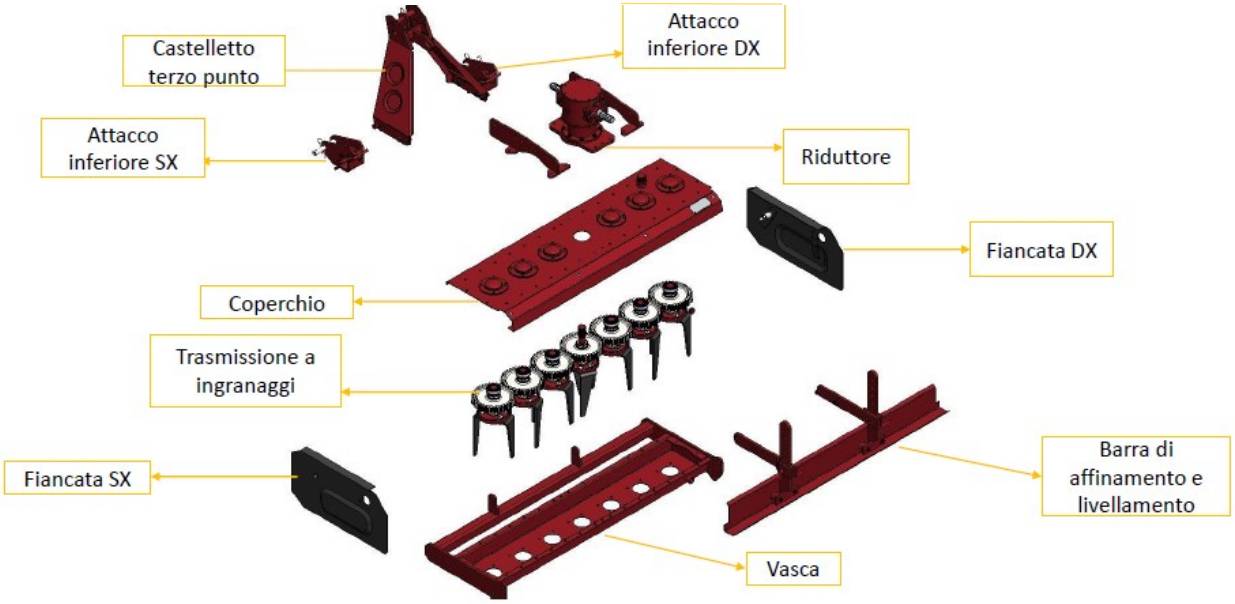


Figura 12 - Elementi costruttivi

1.1.2.2 Principio di funzionamento

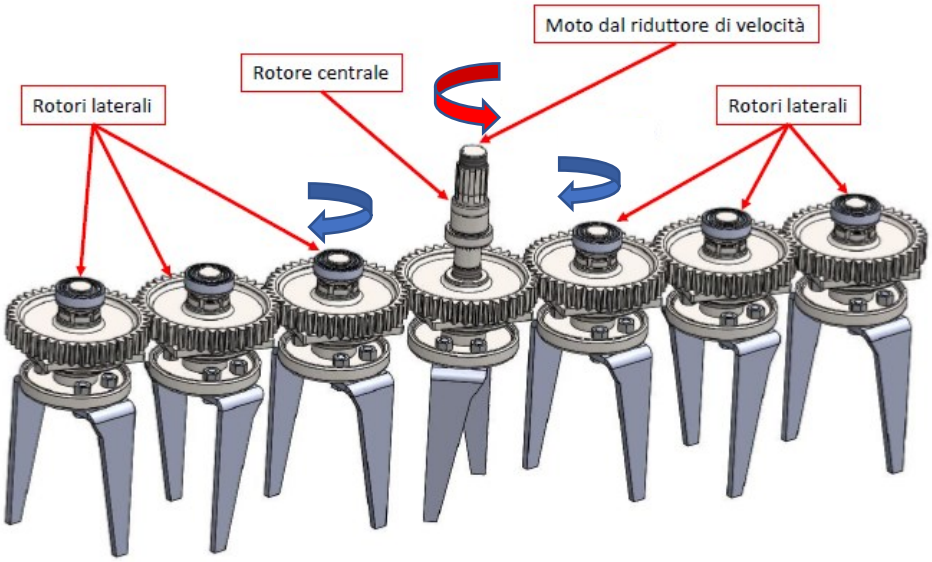


Figura 13 - Principio di funzionamento

Il riduttore di velocità trasmette il moto al rotore centrale e attraverso un meccanismo ad ingranaggi il rotore centrale, a sua volta, trasmette moto ai rotori laterali che permettono la rotazione intorno al proprio asse agli utensili taglienti.

I denti sono gli elementi più importanti degli erpici e sono i componenti che subiscono più usura, come le vanghe per le vangatrici e le zappe per le fresatrici. [2]

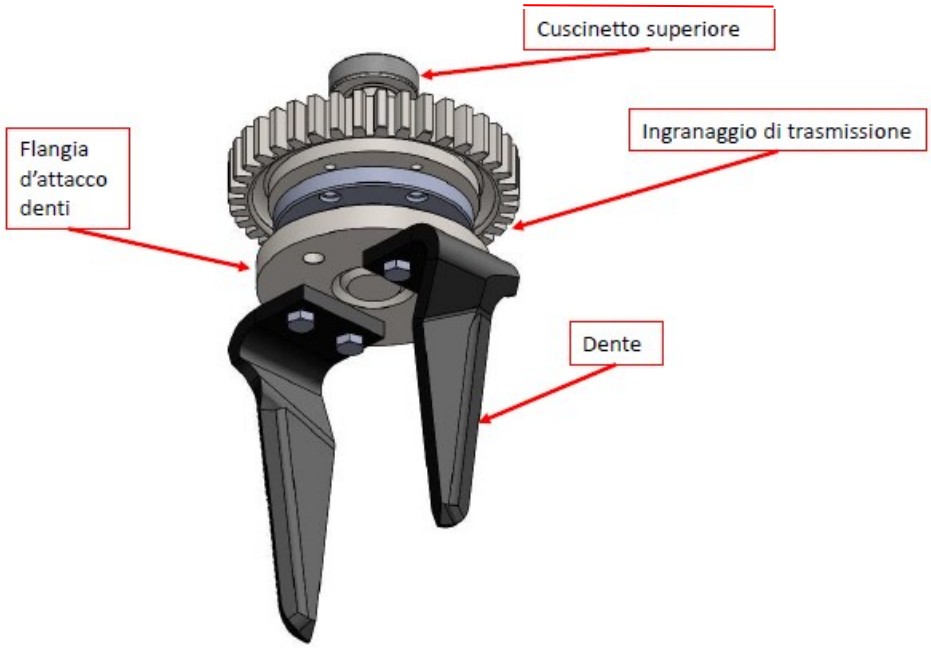


Figura 14 - Rotore laterale e utensile

1.2 Thermal spray & Hardfacing

Il Thermal Spray, o **Termospruzzatura,** è un processo tecnologico di ricopertura il cui principio è quello di rivestire un nuovo materiale (metallico, plastico o ceramico) che si deposita per accrescimento di strati. Il metallo di apporto può essere sotto forma di polveri o filo.

L'**Hardfacing** è un processo molto simile alla termospruzzatura con la differenza che il materiale d'apporto è sottoforma di sola polvere.

Entrambi questi processi vengono utilizzati per aumentare la resistenza all'usura di un componente meccanico, oppure utilizzati per ripristinare una superficie usurata.

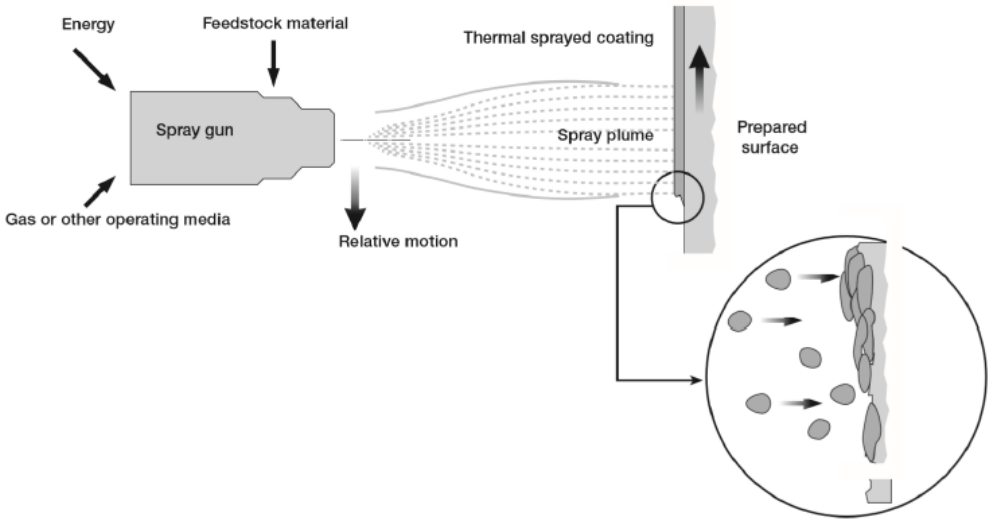


Figura 15 - Schema di un processo di termospruzzatura

1.2.1 Tecniche

Le diverse tecniche di termospruzzatura variano l'una dall'altra in base al modo in cui viene fornito il calore necessario alla combustione e al riscaldamento delle particelle che si andranno a depositare sulla superficie del pezzo preso in esame.

- *Termospruzzatura a fiamma*: la fusione del metallo avviene mediante la produzione di energia generata dalla combustione di gas combustibile in pressione mandato nella pistola insieme ad aria. I metalli inseriti nella pistola possono essere in forma di polveri, fili o aste. Per le aste e i fili viene utilizzato un apposito sistema di avanzamento posto sulla testa della pistola, mentre per le polveri sono diffusi serbatoi a gravità, alimentatori volumetrici e alimentatori a letto fluidizzato;

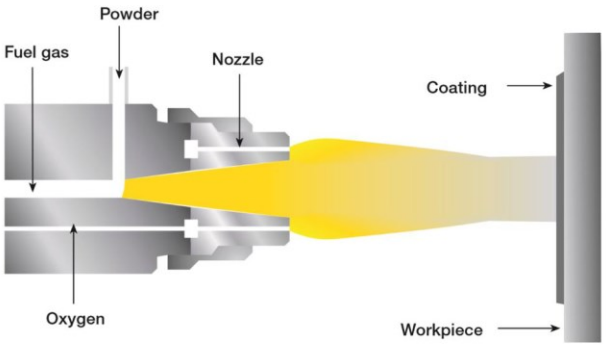


Figura 16 - Powder flame spray

- *Termospruzzatura a camera di detonazione*: avviene una vera e propria detonazione all'interno del condotto generando un riscaldamento elevato (quasi 4000°C) e raggiungendo velocità di 800 m/s;
- *Termospruzzatura ad alta velocità (high velocity oxigen-air fuel):* si genera una reazione di combustione ad alta temperatura (3000°C) miscelando combustibile (propano, acetilene e idrogeno) e ossigeno o aria compressa come comburente. Tramite un ugello la miscela portata a combustione può raggiungere velocità supersoniche;

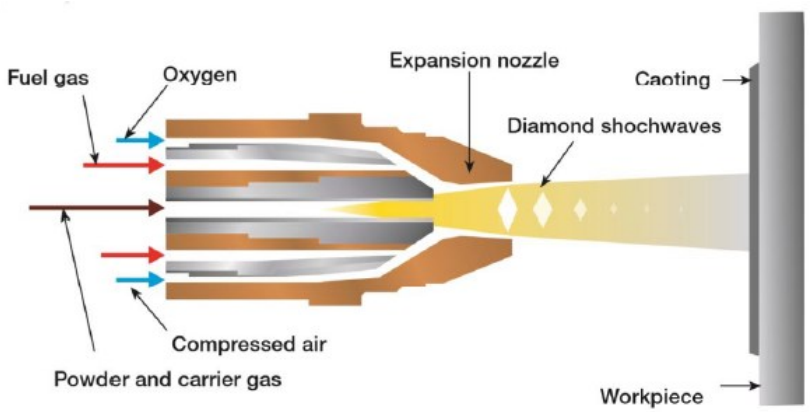


Figura 17 - High velocity oxy-fuel spray (HVOF)

- *Termospruzzatura al plasma:* attraverso l'utilizzo di un arco elettrico formato tra anodo e catodo viene ionizzato un flusso di gas generando lo stato di plasma. All'interno della pistola viene portata la polvere di materiale da applicare a temperatura. Le velocità raggiunte non sono molto elevate, generalmente non superano i 100 m/s;

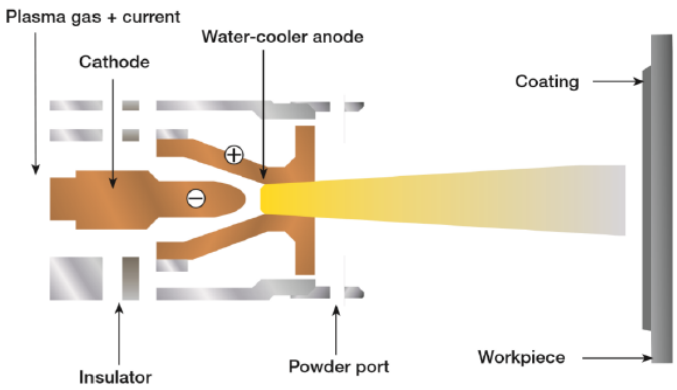


Figura 18 - Plasma spray

- *Termospruzzatura a processo freddo:* attraverso delle resistenze elettriche un flusso di gas in pressione viene riscaldato fino a 1000°C di temperatura senza raggiungere la temperatura di fusione e, attraverso un ugello, vengono raggiunte velocità supersoniche;
- *Termospruzzatura ad arco elettrico (twine air arc):* in questo processo due fili metallici sono posizionati con assi incidenti in modo da avere le estremità ravvicinate sulla testa della pistola all'interno della quale viene fatto fluire gas inerte in pressione. L'aria compressa viene proiettata in uscita al fine di atomizzare il metallo fuso e farlo uscire in pressione da un ugello. Il vantaggio di questo processo è legato ai costi perché con pochi kW si possono fondere molti kg di acciaio inossidabile per ora. [3]

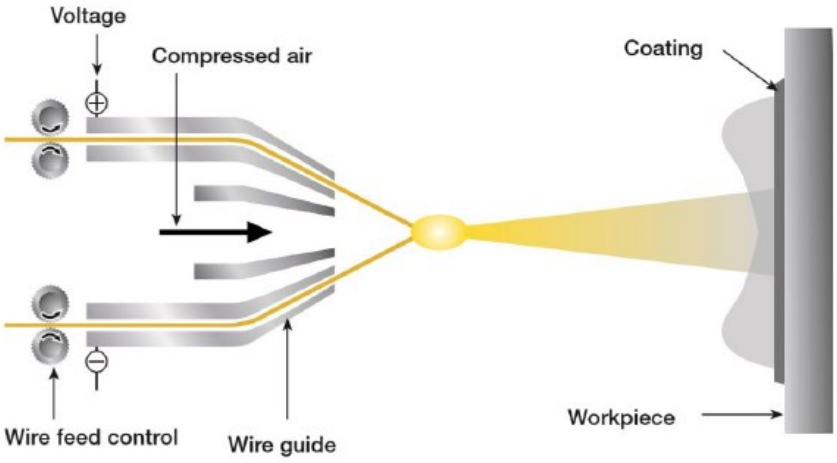


Figura 19 - Electric arc wire spray

Characteristics		Coating Type	Powder Flame Spray	HVOF Spray	Electric Arc Wire Spray	Plasma Spray
Gas temperature	[°C] [°F]		3000 5400	2600 – 3000 4700 – 5400	4000 (Arc) 7200 (Arc)	12000 – 16000 21500 – 29000
Spray rate	[kg/h] [lb/h]		2 – 6 4.5 – 13	1 – 9 2 – 20	10 – 25 22 – 55	2 – 10 4.5 – 22
Particle velocity	[m/s] [ft/s]		up to 50 up to 160	up to 700 up to 2300	approx. 150 approx. 500	up to 450 up to 1500
Bond strength	[MPa] [psi] [MPa] [psi] [MPa] [psi] [MPa] [psi] [MPa] [psi]	Ferrous alloys Non-ferrous alloys Self-fluxing alloys Ceramics Carbides	14 – 21 2000 – 3000 7 – 34 2000 – 5000 83+ (fused) 12000+ (fused) 14 – 34 4000 – 5000 34 – 48 5000 – 7000	48 – 62 7000 – 9000 48 – 62 7000 – 9000 70 – 80 10000 – 11500 --- --- 83+ 12000+	28 – 41 4000 – 6000 14 – 48 4000 – 7000 15 – 50 2200 – 7200 --- --- --- ---	21 – 34 14 – 48 4000 – 7000 --- --- 21 – 41 3000 – 6000 55 – 69 8000 – 10000
Coating thickness	[mm] [in] [mm] [in] [mm] [in] [mm] [in] [mm] [in]	Ferrous alloys Non-ferrous alloys Self-fluxing alloys Ceramics Carbides	0.05 – 2.0 0.002 – 0.080 0.05 – 5.0 0.002 – 0.200 0.15 – 2.5 0.006 – 0.100 0.25 – 2.0 0.010 – 0.075 0.15 – 0.8 0.006 – 0.030	0.05 – 2.5 0.002 – 0.100 0.05 – 2.5 0.002 – 0.100 0.05 – 2.5 0.002 – 0.100 --- --- 0.05 – 5.0 0.002 – 0.200	0.1 – 2.5 0.004 – 0.100 0.1 – 5.0 0.004 – 0.200 --- --- --- --- --- ---	0.4 – 2.5 0.015 – 0.100 0.05 – 5.0 0.002 – 0.200 --- --- 0.1 – 2.0 0.004 – 0.080 0.15 – 0.8 0.006 – 0.030
Hardness *(see Table A1 in the Appendix)*	[HRC]	Ferrous alloys Non-ferrous alloys Self-fluxing alloys Ceramics Carbides	35 20 30 – 60 40 – 65 45 – 55	45 55 30 – 60 --- 55 – 72	40 35 --- --- ---	40 50 30 – 60 45 – 65 50 – 65
Porosity	[%]	Ferrous alloys Non-ferrous alloys Self-fluxing alloys Ceramics Carbides	3 – 10 3 – 10 < 2 (fused) 5 – 15 5 – 15	< 2 < 2 < 2 --- < 1	3 – 10 3 – 10 --- --- ---	2 – 5 2 – 5 --- 1 – 2 2 – 3

Tabella 1 - Tecniche di termospruzzatura a confronto

Per quanto riguarda l'Hardfacing abbiamo che il riporto antiusura può essere depositato con diversi metodi di saldatura, tra cui:

- Saldatura ad arco
- Saldatura ossiacetilenica
- Saldatura a elettro scoria
- Saldatura ad arco a trasferimento di plasma
- Spruzzatura termica

Tra i materiali comunemente applicati distinguiamo leghe a base di cobalto (stellite), leghe a base di nichel e leghe di carburo di cromo.

1.2.1.1. Materiali impiegati nel processo di termospruzzatura

I materiali impiegabili in questa tecnica sono molti e ognuno di questi ha le sue proprietà. Distinguiamo:

- **Metalli e leghe**: alluminio, allumino-zinco, rame, molibdeno, nichel-alluminio, leghe al cromo-nichel, leghe a base di acciaio;
- **Ceramiche**: allumina, carburi di cromo, ossidi di cromo, ossido di titanio, ossido di zirconio;
- **Cermet**: carburo di tungsteno-cobalto, carburi di cromo-nichelcromo;
- **Compositi**: compositi di alluminio/silicone/poliestere, nichel-grafite;
- **Polimeri**: nylon, poliestere, poliammide, polietilene;

1.2.2 Applicazioni

La termospruzzatura possiamo considerarlo come uno strumento sempre al passo coi tempi e dalle vastissime applicazioni. Si riportano a titolo di esempio alcune delle applicazioni e dei campi nei quali questo processo trova impiego:

Settore automotive: grazie allo sviluppo della termospruzzatura è stato possibile alleggerire i motori delle autovetture;

Settore biomedico: tecnica usata per la realizzazione ed il miglioramento di protesi che può aiutare a prevenire problematiche di non compatibilità tra osso e protesi;

Settore dell'energia rinnovabile: per ricoprire di materiale antiusura pale eoliche, soggette a continui agenti atmosferici, e pale delle turbine, soggette a condizioni estreme e fenomeni di cavitazione, erosione e corrosione;

Settore dell'industria nucleare: per il rivestimento dei serbatoi in alluminio attraverso la ricopertura di materiale trasparente alle radiazioni che può essere utile al controllo di usura, corrosione, conduzione di calore o diffusione atomica. È stato

visto che uno dei materiali migliori per questo settore è lo zirconio, in grado di fungere da scudo per le reazioni chimiche indotte dall'uranio;

Estrazione delle sabbie bituminose: la tecnica di termospruzzatura può aumentare la resistenza all'usura delle macchine utilizzate per le estrazioni delle rocce, causata principalmente da abrasione e urti causati dalle rocce e dall'erosione causata dal trasporto di sabbia che consuma i componenti dell'attrezzatura;

Protezione delle strutture sottoposte a corrosione marina: vengono utilizzati CoCrW, CoCrMo, NiCrBSi e Zn che oltre a offrire protezione da corrosione preservano i materiali, come valvole a sfera, flange e raccordi, anche da usura.

Capitolo 2

Attrezzatura

In questo capitolo entriamo nel merito della specifica attrezzatura industriale utilizzata all'interno dell'azienda interessata, ponendo attenzione non solo alle componenti costituenti il sistema di spruzzatura, ma anche ad accorgimenti resi necessari per ottenere un processo produttivo e ripetibile, nonché sviluppabile.

2.1 Componenti principali d'impianto

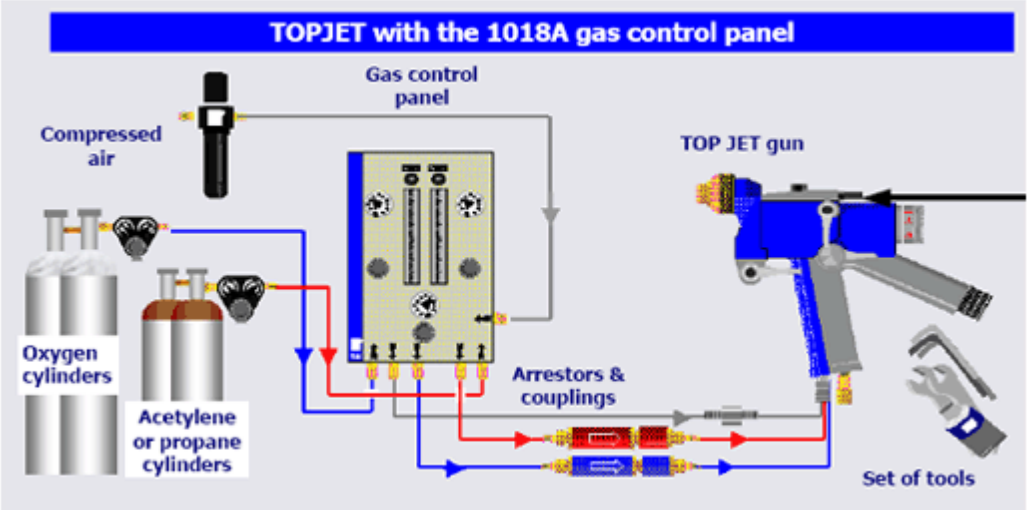


Figura 20 - Schema impianto

2.1.1 Impianto di alimentazione

Il pannello di controllo del gas (figura 21), a cui è collegata la pistola, è lo strumento attraverso il quale avviene la regolazione statica delle pressioni di combustibile, ossigeno e aria compressa. È costituito da:

- Un regolatore di pressione, un manometro e un flussimetro per il combustibile (propano);
- Un regolatore di pressione, un manometro e un flussimetro per l'ossigeno;
- Un regolatore di pressione e un manometro per l'aria compressa.

I valori di pressione sono specificati nel manuale e variano in base al tipo di combustibile e al metallo che andremo a termospruzzare garantendo, ovviamente, i parametri di sicurezza.

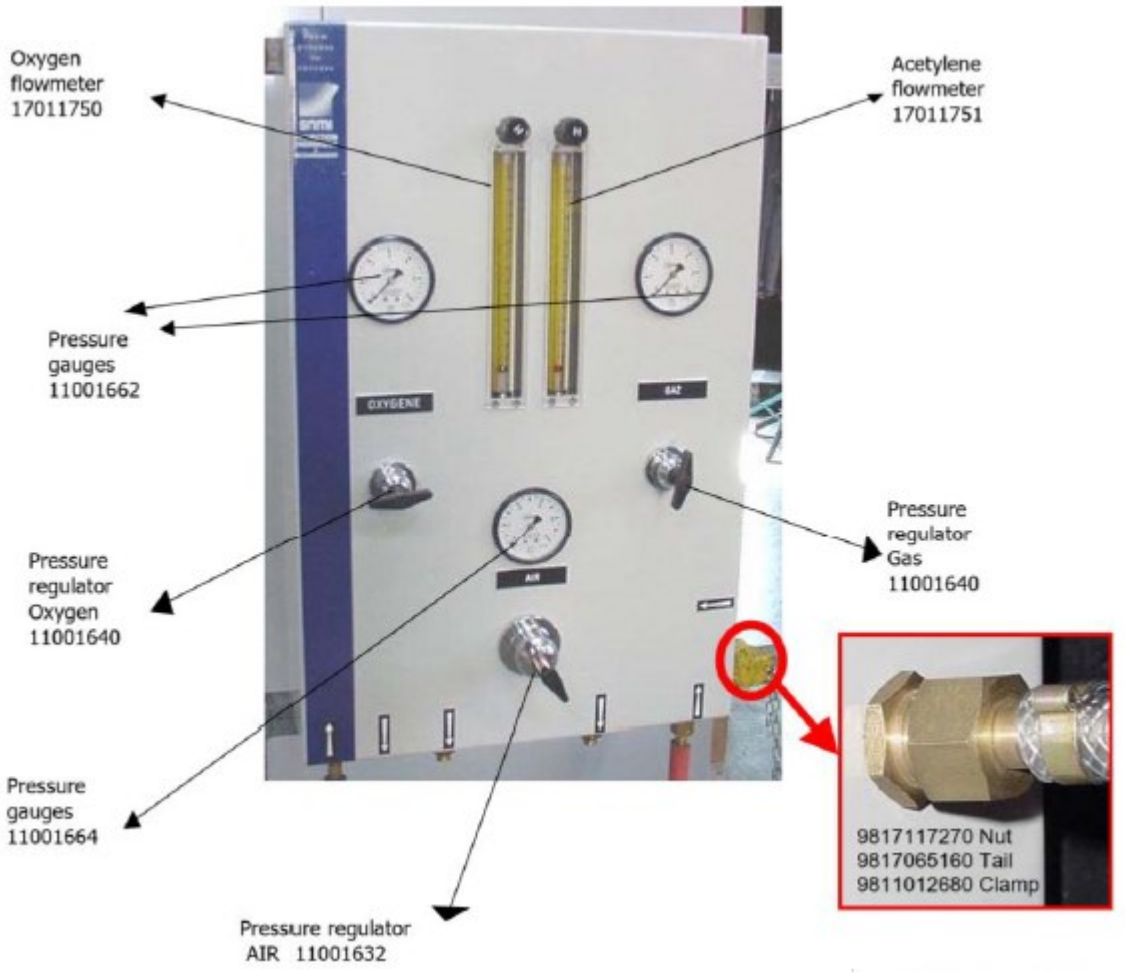


Figura 21 - Pannello di controllo gas, ossigeno e aria compressa

2.1.2 Pistola

La pistola rappresenta l'elemento principale e più importante di questa tecnica, poiché produce il getto del materiale responsabile della creazione dello strato di materiale metallico indurente antiusura e ad essa è affidato il compito di:

- Miscelare adeguatamente combustibile e comburente, producendo la fiamma;
- Introdurre nella fiamma il filo metallico d'alimento;
- Convogliare e direzionare l'aria compressa producendo il getto del materiale indurente verso la superficie del materiale da rivestire.

Figura 22 – Esempio di pistola

La pistola è composta da diversi componenti essenziali, tra cui:

Figura 23 - Componenti ugello

- **Ugello (nozzle):** costituito da diversi componenti metallici e guarnizioni resistenti alle alte temperature; garantisce una lavorazione in sicurezza in quanto evita il ritorno di fiamma, ma è consigliabile verificare periodicamente la funzionalità.

  Ne esistono di diverse dimensioni, in base al diametro del filo del metallo che dobbiamo termospruzzare. È indispensabile non utilizzare un ugello con diametro di uscita molto maggiore del diametro del filo d'alimento in quanto si può incorrere nel ritorno di fiamma citato sopra.

  Quando è necessario effettuare la tecnica di termospruzzatura su cavità interne vengono utilizzati ugelli interni curvati, in grado di depositare metallo sulla superficie interna.

- **Valvole di controllo:** sulla pistola ne sono presenti 2; la prima (1) serve per allargare o restringere i rulli dove passerà il filo d'alimento, la seconda (2) è la valvola in grado di regolare i parametri di combustibile e gas, con il primo scatto in senso antiorario, e l'aria compressa, con il secondo scatto.
- **Motore elettrico (3):** la cui velocità di rotazione è proporzionale alla velocità di trascinamento del filo d'alimento, gestita e regolata da un sistema elettronico (*speed regulation unit*).

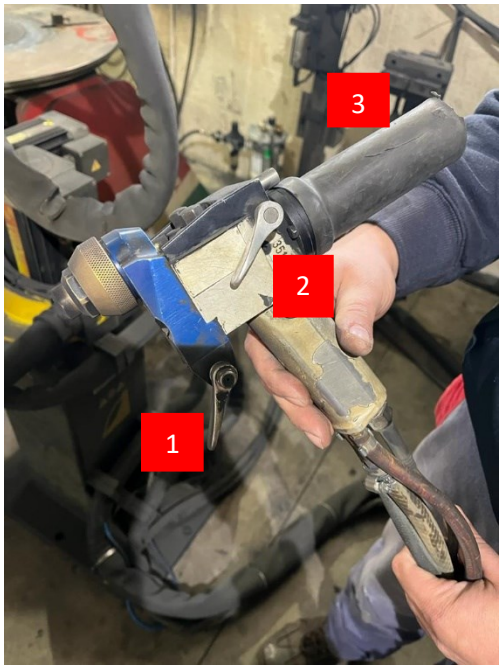


Figura 24 - Componenti pistola

2.1.3 Sistemi di protezione e sicurezza

Lo scopo di questo paragrafo è quello di descrivere i criteri di sicurezza riguardanti la sola tecnica di termospruzzatura. Innanzitutto, è necessario disporre i serbatoi di combustibile esternamente, in zone controllate o all'interno di appositi locali e correttamente fissati (per esempio al muro). In secondo luogo, è necessario effettuare il processo in un box isolato, dato l'elevato rumore della tecnica.

Figura 25 - Dispositivi di protezione e sicurezza

Successivamente è necessario, durante il funzionamento delle macchine e quindi, durante il processo, indossare:

- **Guanti** specifici e **tuta ignifuga**, date le alte temperature;
- **Mascherina** e buoni **sistemi di aereazione e filtraggio (casco pressurizzato)** per evitare di inalare le particelle tossiche vaganti;
- **Tappi** per le orecchie, dato il rumore elevato;

- **Occhiali** che proteggono gli occhi dagli alti livelli d'intensità luminosa, oltre che dalle particelle;

2.1.4 Robot

Oltre al tipico processo manuale è possibile effettuare la lavorazione anche mediante processo automatizzato utilizzando un "Robot". È un robot antropomorfo multiscopo a 6 assi controllati con portata di 10 Kg. È in grado di fornire elevate prestazioni grazie alla struttura meccanica in lega di magnesio ed è dotato di grande destrezza raggiungendo posizioni estreme grazie all'assenza di organi di bilanciamento. Garantisce elevate accelerazioni, sicurezza ed affidabilità grazie ai 6 servo-motori brushless. [4]

Figura 26 - Robot

2.2 Implementazione

2.2.1 Trascinamento filo

Il trascinamento del filo d'alimento ha un ruolo fondamentale per la corretta esecuzione della tecnica, a partire dalla velocità di avanzamento che deve essere il più costante possibile. A tal scopo il sistema di termospruzzatura impiega un potenziometro per regolare la velocità del motore elettrico ed un sistema a rulli variabile in interasse per eseguire la presa migliore.

Riguardo la **velocità ottimale**, ricordiamo che non esiste un valore assoluto, in quanto è strettamente connesso al tipo di materiale del filo d'alimento e alle pressioni e portate del gas combustibile. In base a questi valori si garantisce la giusta fusione del filo metallico.

Per ottenere buone caratteristiche meccaniche del rivestimento è necessario avere un giusto grado di fusione delle particelle proiettate dalla pistola. Non potendone misurare direttamente la temperatura, si opera andando a regolare manualmente, mediante limatura, la **punta** (*tip*) del filo metallico e verificandone lo stato a pistola

spenta. Infatti, velocità elevate comporteranno fili dal tip troppo allungato, e viceversa. Le dimensioni del tip variano in base al filo di metallo impiegato.

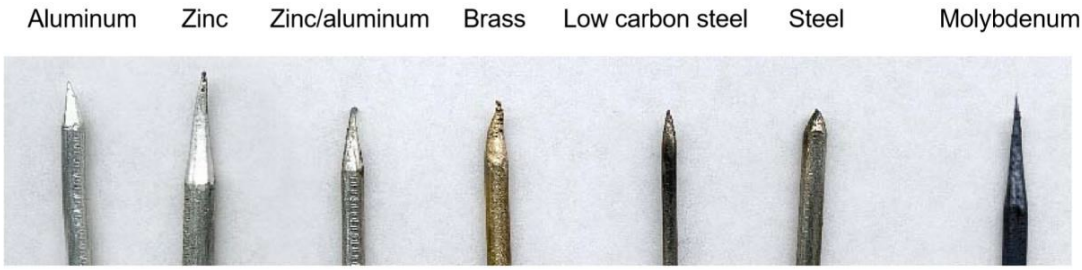


Figura 27 - Tip ottimale di diversi materiali

Per quanto riguarda invece la **presa** migliore del sistema di rulli è necessario regolare la distanza tra questi ultimi mediante una vite, facendo sì che la pressione esercitata dai rulli sul filo sia sufficiente ad evitare lo slittamento dei rulli, ma non eccessiva da deformare il filo, rischiando di interrompere l'erogazione del getto. [5]

2.2.2 Tavola rotante

Per avere una buona fluidità del filo d'impiego all'interno della pistola è necessaria una determinata curvatura del filo raccolto in una bobina per garantire il corretto cammino all'interno del sistema di trascinamento e nell'ugello; all'inizio è stato scelto di adagiare la bobina di materiale a terra ma si è visto che per fili dal diametro di 3,17 mm o maggiore si sono riscontrati problemi come l'ingombro a terra, la tendenza all'intreccio del filo e la difficoltà a scorrere nelle guide. Una soluzione migliore (per fili di diametro inferiore a 2,4mm) è quella di installare una bobina di materiale direttamente sul robot risolvendo il problema dell'ingombro.

Figura 28 - Bobina su robot

2.3 Provini

I componenti resi disponibili dall'azienda **Tortella s.r.l.** su cui effettuare i processi di Termospruzzatura e Hardfacing (e di conseguenza valutare l'aumento della resistenza all'usura) sono le vanghe per le vangatrici, le zappe per le fresatrici e i denti per gli erpici. Più precisamente, andremo ad applicare il rivestimento non su tutto l'utensile ma solamente sul tagliente, oggetto di maggiore usura e probabile scheggiatura.

In rosso sono segnati i taglienti di ogni utensile:

Figura 29 - Taglienti (segnati in rosso)

Capitolo 3
Tecniche di prova e procedure utilizzate

Questo capitolo è necessario per l'esposizione, nei particolari, del processo di Termospruzzatura e Hardfacing in tutte le sue fasi e le tipologie di prove effettuate sui provini dopo l'applicazione dello strato protettivo. Si parte dall'illustrazione corretta di ogni fase nei minimi dettagli, delineando la modalità di esecuzione, i parametri da seguire e i difetti che possono manifestarsi in seguito ad una scorretta o corretta applicazione dello strato di indurimento.

3.1 Termospruzzatura mediante l'utilizzo di filo metallico

Il processo di Termospruzzatura, come già detto precedentemente, consiste nell'applicazione di uno strato indurente antiusura di carburo di tungsteno su una superficie presa in esame mediante l'utilizzo di una pistola all'interno della quale avviene la combustione di una miscela di gas (nel nostro caso propano, ossigeno e aria) generando piccole gocce di particelle di metallo fuso che si andranno a depositare sulla superficie del componente di cui vogliamo aumentare la durata. Il rivestimento metallico, o anche ceramico, avviene a partire da fili oppure polveri di diverse dimensioni che vengono riscaldati in un'atmosfera gassosa ad alte temperature.

La tecnica prevede diverse fasi da seguire per una corretta applicazione dello strato. È necessario eseguire ogni fase correttamente per ottenere i risultati desiderati. Nel caso in cui dovessimo eseguire il processo su una sola porzione di superficie, è necessario ricoprire il restante non interessato utilizzando una vernice di protezione oppure uno scotch ignifugo da applicare sui bordi esterni della superficie da termospruzzare.

Ricoperti, nel caso in cui ci fossero, le porzioni non interessate, il primo passo fondamentale da eseguire è la pulizia del componente su cui eseguire il processo.

Di seguito l'elenco delle procedure da eseguire:

- Deumidificazione;
- Sabbiatura;
- Applicazione di un aggrappante;
- Applicazione materiale antiusura

} *Thermal spray*

3.1.1 Deumidificazione

Un altro fattore contaminante, oltre alle polveri e altri agenti, è l'**umidità,** che deve essere ridotta il più possibile. Possiamo effettuare il processo di deumidificazione medianti diversi metodi, ma il più semplice è sicuramente riscaldare il componente mediante l'utilizzo di un cannello generatore di fiamma che, riscaldando il pezzo con una temperatura ottimale di 40-50°C, favorisce l'evacuazione dell'acqua in eccesso. Un aspetto da tenere sotto considerazione è la temperatura, in quanto, se troppo elevata, si rischia di eseguire sul pezzo un trattamento termico, spesso indesiderato.

3.1.2 Sabbiatura

La sabbiatura è un procedimento meccanico manuale con il quale si erode la parte superficiale di un metallo mediante azione di abrasione dovuta al getto di sabbia miscelata ad aria proiettato direttamente sul pezzo ad alta velocità con lo scopo di eliminare ossidi e particelle estranee. Lo scopo principale di questo processo è quello di effettuare una pulizia superficiale del componente.

Il processo avviene all'interno di una macchina specifica, chiamata **sabbiatrice**, in cui viene poggiato il componente da sabbiare su di una pedana mentre l'operatore è posto all'esterno. All'interno della macchina è presente:

- *Serbatoio*: all'interno si deposita la sabbia da miscelare nel getto d'aria. Ha una forma cilindrica superiormente e conica inferiormente;
- *Bocca di miscelazione*: contenente una valvola che dosa la quantità giusta di sabbia da rilasciare nel getto d'aria;

- *Circuito di comando*: consente all'operatore di aprire o chiudere la mandata di aria/sabbia in pressione, di tipo pneumatico;
- *Pistola*: parte terminale del tubo, convoglia la miscela in arriva dal serbatoio e consente all'operatore di direzionare il getto sulle zone da pulire.

Figura 30 - Esempio di sabbiatura

I parametri da tenere sotto controllo, oltre alla pressione, al corindone e alla grandezza del granello che vedremo più in dettaglio, è la miscela aria/sabbia, che influisce sulla rapidità di asportazione del materiale superficiale. Infatti, un getto troppo elevato potrebbe generare dei solchi sulla superficie. Tale aspetto è gestito dall'operatore stesso.

- **Pressione:** parametro che prende il valore di 4 bar;
- **Grandezza granello:** è stata utilizzata sabbia mesh F36 (designazione FEPA dell'abrasivo) con una grandezza del granello che raggiunge valori di 525 μm.

3.1.3 Parametri di processo

Durante l'esecuzione del processo sono da considerare dei parametri fondamentali per poter ottenere risultati accettabili, distinguendo parametri **fissi** da parametri **variabili.**

3.1.3.1 Parametri fissi

Sono quei parametri che devono mantenere un andamento costante per tutte le durate delle prove.

- *Pressioni:* parametro che prende valori diversi in base al tipo di fluido utilizzato, cioè 1.4 bar per il propano, 4.5 bar per l'aria e 4.5 bar per l'ossigeno;
- *Temperatura:* parametro il cui valore non deve superare i 100°C del pezzo in esame;

- *Spessori di deposizione:* parametro il cui valore è di 6 mm dopo un totale di 20 passate.

3.1.3.2 Parametri variabili

Parametri i cui valori saranno variati per poter valutare che influenza avranno sulle caratteristiche meccaniche dei pezzi in esame e con i quali possiamo ottimizzare il processo di termospruzzatura.

- *Distanza tra pistola e pezzo:* deve mantenere un valore il più possibile costante (intorno ai 20 cm) perché, se maggiore, accadrà che le gocce di metallo fuso impiegheranno troppo tempo per depositarsi sulla superficie del pezzo e raffreddandosi potranno causare una non corretta deposizione dello strato sulla superficie; mentre se minore, la temperatura incandescente delle gocce non avrà tempo di stabilizzarsi e si formeranno aloni di materiale metallico bruciato depositati sulla superficie;
- *Velocità di traslazione della pistola:* si ha un assottigliamento dello strato di rivestimento all'aumentare della velocità il cui valore ottimale si aggira agli 1.8 mm/sec;
- *Numero di passate:* fattore importante perché al variare di questo parametro variano i risultati ottenuti. È stato deciso di prendere questo parametro uguale a 20.

3.1.4 Aggrappante

Prima di eseguire il processo di termospruzzatura vero e proprio viene depositato un primo rivestimento, sempre con apposita pistola, di un materiale chiamato "*aggrappante*", che ha il compito di migliorare le proprietà adesive del substrato. L'aggrappante utilizzato è stato un bicomponente **Nichel-Alluminio**, costituito da un filo di Nichel rivestito di Alluminio, il cui nome commerciale è **Spraybond.** [6]

3.1.5 Applicazione del materiale antiusura

A questo punto possiamo procedere con l'applicazione del rivestimento antiusura; quindi, andiamo a ricoprire lo strato di materiale aggrappante con un secondo strato di carburo di tungsteno.

3.2 Termospruzzatura mediante l'utilizzo di polvere

In questo tipo di processo andremo a depositare uno strato metallico derivante da polveri sulla superficie del pezzo preso in esame, nel nostro caso una vanga C45, mediante apposita pistola.

3.2.1 Processo

Nella Termospruzzatura tramite filo metallico, dopo il processo di sabbiatura, abbiamo depositato sulla superficie della vanga un aggrappante di Ni-Al mentre qui, prima di procedere con la tecnica, occorre depositare DELORO STELLITE N052080425, un tipo di polvere spruzzata tramite pistola, mantenendo una temperatura ideale del pezzo di 100°C. Lo strato di polvere depositato non deve superare qualche decimo di millimetro, essendo un materiale di base per poi essere ricoperto. Successivamente, lo strato di base viene ricoperto, in analogo modo, con polvere di STELLITE STELCAR® 38 KX – 401 A 052080405 (Carburo di tungsteno) materiale di riempimento più duro per uno spessore di 1-2 mm.

3.2.2 Pistola e sistemi di protezione

Per il processo viene utilizzata una pistola IBEDA MiniSprayJet F311 FX, composta da:

- Un piccolo serbatoio superiore dove viene immessa la polvere da spruzzare sul pezzo, sia per il materiale di base che per il carburo di tungsteno in polvere da applicare come secondo rivestimento;

Figura 31 – Pistola per Termospruzzatura tramite polvere

- Due tubi, collegati ad essa, da cui uno si regola la quantità di ossigeno (blu) e dall'altro la quantità di propano (rosso).

All'interno della pistola, con le giuste regolazioni di ossigeno, propano e polvere, avviene la combustione e tramite l'ugello viene sparata polvere fusa che si andrà a depositare sull'utensile del pezzo.

I sistemi di protezione sono gli stessi citati per l'altro tipo di Termospruzzatura, cioè:

- **Guanti** specifici e **tuta ignifuga**, date le alte temperature;
- **Mascherina** e buoni **sistemi di aereazione e filtraggio (casco pressurizzato**) per evitare di inalare le particelle tossiche vaganti;
- **Tappi** per le orecchie, dato il rumore elevato;

3.2.3 Parametri di processo

Tra i parametri da considerare, per una buona riuscita del processo, si ha:

- *Pressione*: parametro per cui è consigliabile non superare valori di 1.4 bar per il propano, 4.5 bar per l'aria e 4.5 bar per l'ossigeno;
- *Temperatura*: parametro per cui è necessario non superare il valore di 100°C del pezzo;
- *Grandezza granello*: parametro costante per tutti i processi eseguiti, in cui abbiamo valori dei granelli della polvere di 405 e 425 che va dai 20 μm ai 106 μm;
- *Velocità di avanzamento*: parametro ottenuto dopo svariate prove, con un valore ottimale di 1,8 mm/sec considerando la durata di ricopertura di una singola facciata di all'incirca 5:30 minuti per una distanza percorsa di all'incirca 600 mm;
- *Numero di passate*: considerando 20 passate per ogni tratto rettilineo di tagliente del pezzo per entrambe le facciate e 20 passate per ogni tratto rettilineo della superficie della punta dell'utensile, sono state effettuate in totale 180 passate;

- *Spessore di deposizione*: considerando un totale di 60 passate per lato, abbiamo riscontrato un aumento di spessore di 0.3 mm, quindi un valore approssimativo di 0.015 mm per passata;
- *Quantità di polvere utilizzata*: considerando il serbatoio pieno di polvere che ha un peso di 1000 g e che dopo 60 passate (singola facciata) il peso sia rimasto sui 600 g, arriviamo alla conclusione che sono stati utilizzati all'incirca 1200 g di polvere per l'intero processo;
- *Tempi di lavorazione*: Considerando una media di 5:30 minuti per ogni lato, 2 facciate, la superficie della punta della vanga, il tempo di sabbiatura, preparazione pistola, smontaggio e raffreddamento, possiamo determinare che il tempo necessario per realizzare una vanga termospruzzata mediante polvere è di all'incirca 30-35 minuti.

Si consideri che questi parametri appena citati sono gestiti dall'operatore e possono variare in base alla manualità di quest'ultimo, soprattutto il tempo.

Dalle foto riportate in basso possiamo notare la differenza tra i tipi di processo eseguiti: solo sabbiatura (sx), sabbiatura e Termospruzzatura (centro) e sabbiatura, Termospruzzatura e successivo riscaldamento tramite cannello (dx) per verificare se con un riscaldamento si ottengono valori di resistenza più alti.

Figura 32 - Sabbiatura (sx), sabbiatura e Termospruzzatura (centro), sabbiatura, Termospruzzatura e cannello (dx)

3.3 Hardfacing

L'Hardfacing è un processo molto simile al Thermal Spray ma la differenza è il tipo di pistola utilizzata e le fasi del processo. Infatti in esso non è necessario un processo di deumidificazione né il processo di sabbiatura. Può essere effettuata una passata di carta abrasiva grana 24 sulla superficie da lavorare per renderla più ruvida.

Figura 33 - Esempio di saldobrasatura

3.3.1 Processo

Come prima cosa è utile effettuare una passata di carta abrasiva sull'utensile. Successivamente viene applicato uno strato metallico di materiale di base in polvere, lo stesso della Termospruzzatura, il DELORO STELLITE N052080425. In questo passaggio è importante eseguire una prima passata veloce che ha la funzione di aggrappante e solo dopo le successive passate. Infine lo strato di materiale di base viene ricoperto dal carburo di tungsteno in polvere, STELLITE STELCAR® 38 KX – 401 A 052080405.

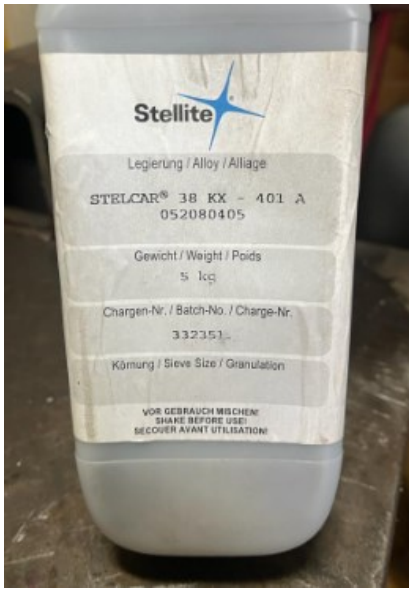


Figura 34 - Polvere di stellite

Figura 35 – Carta abrasiva per sgrossatura

Per una corretta riuscita della tecnica è necessario effettuare diverse passate sul provino, tutte eseguite tenendo i parametri il più possibilmente costanti.

A fine processo se sono presenti impurità sull' utensile si possono creare bolle, che possono essere eliminate riscaldando il pezzo mediante semplice fiamma.

A lavoro finito, prima che il pezzo si raffreddi, è consigliato l'uso della mola per far sì che la superficie diventi il più possibile liscia per poter effettuare le relative prove di durezza. Per questa fase è stata utilizzata una mola a grana grossa da sgrossatura 36+ per materiali duri. Infine è necessario raffreddare il pezzo lavorato in aria calma.

3.3.2 Pistola e sistemi di sicurezza

Per la tecnica dell' Hardfacing non è stata utilizzata una vera e propria pistola, ma un cannello (foto in allegato) all'interno del quale avviene la fusione del gas con la polvere che si andrà a depositare sul pezzo. Il cannello è composto da:

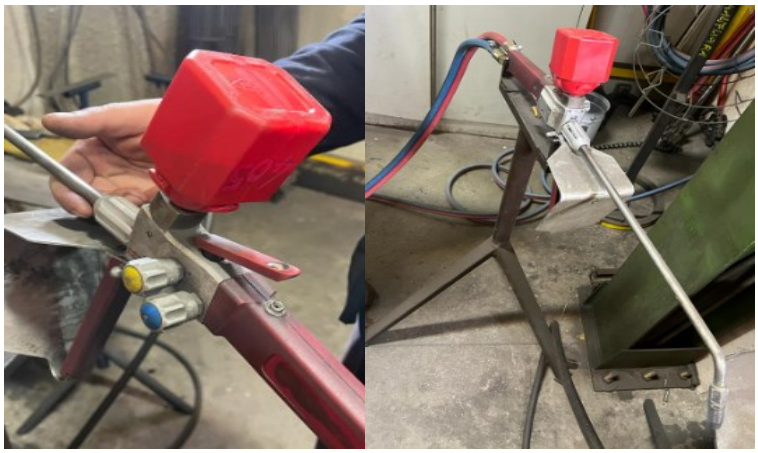


Figura 36 - Cannello per Hardfacing

- Un serbatoio (rosso) superiore dove viene immessa la polvere per eseguire il processo;
- Due valvole di regolazione per l'ossigeno (azzurra) e l'acetilene (gialla);
- Due grilletti da cui esce la polvere (rosso) e la miscela le cui quantità sono state precedentemente regolate dalle valvole di regolazione (giallo).

I sistemi di sicurezza, come già citati per la Termospruzzatura sono:

- **Guanti** specifici e **tuta ignifuga**, date le alte temperature;
- **Mascherina** e buoni **sistemi di aereazione e filtraggio (casco pressurizzato**);
- **Tappi** per le orecchie, dato il rumore elevato;

Inoltre è consigliabile lavorare vicino ad una fonte di aspirazione per evitare di inalare particelle tossiche vaganti di metallo fuso.

Figura 37 - Vanga saldobrasata

3.3.3 Parametri di processo

Anche nella tecnica dell' Hardfacing è necessario considerare dei parametri di processo, simili a quelli della tecnica della Termospruzzatura:

- *Pressione:* parametro in cui abbiamo valori differenti dal Thermal Spray, cioè 0.8 bar per l'ossigeno e 1.2 bar per l'acetilene;
- *Temperatura:* per questo processo è necessario non superare la temperatura di 500° C;

- *Velocità di avanzamento:* questo parametro è simile a quello riferente a Thermal Spray e prende un valore di 1.8 mm/sec;
- *Numero di passate:* anche per questo tipo di processo sono state eseguite 60 passate per lato per un totale di 120 passate;
- *Grandezza granello:* viene utilizzata lo stesso tipo di polvere utilizzata nel processo precedente e quindi, anche in questo caso, la polvere ha granelli di dimensione che vanno dai 20 μm ai 106 μm;
- *Spessore di deposizione:* considerando un totale di 20 passate per facciata, abbiamo riscontrato un aumento di spessore della superficie di 2-3 mm, quindi un aumento generale di 0,1-0,15 mm per passata;
- *Quantità di polvere utilizzata:* per l'Hardfacing, come già detto, viene utilizzato un altro tipo di serbatoio che ha un peso di 1 kg pieno e per il processo viene utilizzato un singolo serbatoio quindi possiamo dire che vengono utilizzati all'incirca 900 g di polvere contando 100g il peso del serbatoio;
- *Tempi di lavorazione:* considerando i tempi di preparazione pistola, processo per entrambe le facciate, molatura finale e raffreddamento in aria calma possiamo definire il tempo di lavorazione dell'intero processo che è di all'incirca 60 minuti.

A differenza della Termospruzzatura mediante polveri, nel processo di Hardfacing non è stato necessario applicare lo strato metallico protettivo sulla superficie della punta della vanga, in quanto sarebbe stata una perdita di tempo e materiale.

Infine andremo a valutare l'efficienza del processo mediante l'analisi di 3 tipi di prove:

- Prove di aderenza;
- Prove di durezza;
- Prove di durata.

3.4 Prove di aderenza

Sono state installate diverse vanghe termospruzzate e saldobrasate sulla vangatrice per metterle in prova e verificare le condizioni di aderenza.

Figura 38 - Montaggio vanghe ricoperte su vangatrice (1)

Nelle figure 38 e 41 si identificano il processo e la posizione delle vanghe ricoperte (esterne) e quelle originali (centrali).

Figura 39 - Montaggio vanghe ricoperte su vangatrice (2)

Figura 40 - Montaggio vanghe ricoperte su vangatrice (3)

Figura 41 - Montaggio vanghe ricoperte su vangatrice (4)

3.5 Prove di durezza

In questo paragrafo andremo a definire i tipi di durezze che abbiamo utilizzato.

La durezza è una proprietà che indica la deformabilità plastica di un materiale e può essere determinata attraverso delle relative prove di durezza in cui si penetra il materiale di cui vogliamo sapere il grado di durezza con un penetratore con forma diversa a seconda del tipo di prova.

3.5.1 Brinell HB

Prova di durezza in cui il penetratore è una sfera di diametro millimetrico che lascia appunto un'impronta semisferica sul pezzo in esame.

$$HB = \frac{2P \times 0,102}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

- D = diametro del penetratore [mm]
- d = diametro dell'impronta [mm]
- P = carico prova [N]

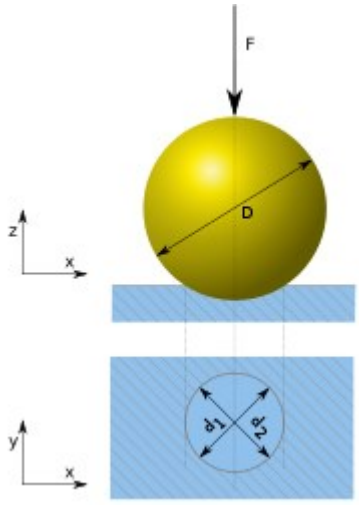


Figura 42 - Schema prova di durezza HB

I vantaggi di questo tipo di prova sono:

- Rapidità;
- Economicità;
- Possibilità di impiegare carichi particolarmente alti.

Mentre lo svantaggio riguarda la difficoltà nel confronto tra le diverse prove effettuate perché, a parità di carico applicato, il penetratore può affondare in misure diverse cambiando l'inclinazione delle facce.

3.5.2 Rockwell HRC/HRB

Questo tipo di durezza avviene secondo più stadi successivi di carico e può essere effettuata utilizzando diversi tipi di penetratori:

- Forma conica (realizzati in diamante);
- Forma sferica (realizzati in carburo di tungsteno).

Tipo di prova	Penetratore	Carico applicato
B	Sferico	980 N
C	Conico	1471 N
T	Sferico	29,4 N
N	Conico	29,4 N

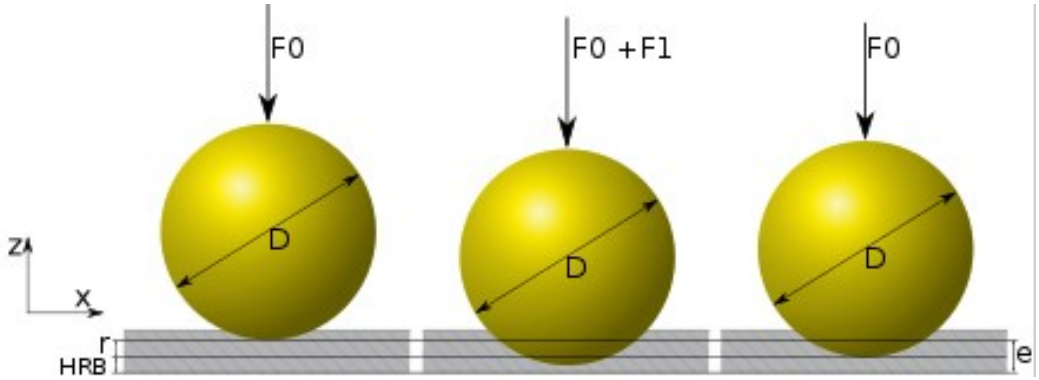


Figura 43 - Schema prova di durezza HRB

Principalmente la procedura consiste nel collocare il penetratore sulla superficie di cui misurare la durezza, applicando una forza iniziale, chiamata precarico, di circa 100 N e successivamente applicare la forza addizionale per un intervallo di tempo

definito. Quando il penetratore raggiunge la penetrazione massima si rimuove la forza addizionale lasciando solamente il precarico agire sul pezzo.

Le due scale maggiormente utilizzate sono:

- HRC: il penetratore è un cono di diamante con un angolo di apertura di 120° e raggio di raccordo di 0,2 mm;
- HRB: il penetratore è una sfera di metallo duro dal diametro di 1,6 mm.

Il vantaggio di questa prova è la praticità ma lo svantaggio è la difficoltà del confronto con le diverse scale poiché si utilizzano unità di misura diverse.

3.5.3 Vickers HV

In questo tipo di prova il penetratore è un diamante costituito da una piramide a base quadrata con un angolo di 136° la cui impronta vista dall'alto è la base quadrata della piramide. [7]

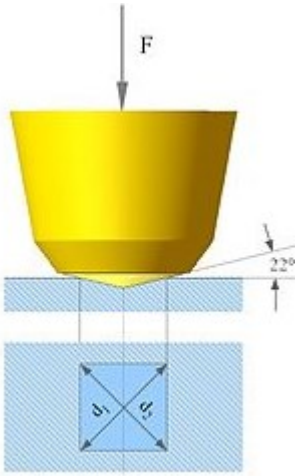


Figura 45 - Schema prova di durezza HV

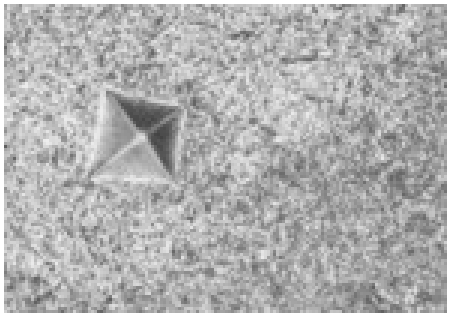


Figura 44 - Impronta prova HV

$$HV = \frac{2P \times 0,102 \times \sin(\omega/2)}{t^2}$$

$$\omega = 136°$$

Angolo di apertura: $\cos(\omega/2) = 0,375 = (0,25 + 0,5)/2)$

- P = carico di prova (variabile) [N]
- t = media delle diagonali dell'impronta del penetratore [mm]

Riguardo i vantaggi della prova di durezza Vickers abbiamo:

- Inclinazione delle facce costante;
- Possibilità di usare carichi non troppo alti per poter effettuare misure di durezza ravvicinate;
- Precisione della misurazione.

Mentre, per gli svantaggi:

- Costo;
- Notevole perdita di tempo nella lettura delle impronte.

Per le prove da noi eseguite sono stati utilizzati un durometro portatile HARTIP 3000 in grado di effettuare tutti e tre i tipi di durezza citati e un durometro fisso (con certificati di taratura in allegato).

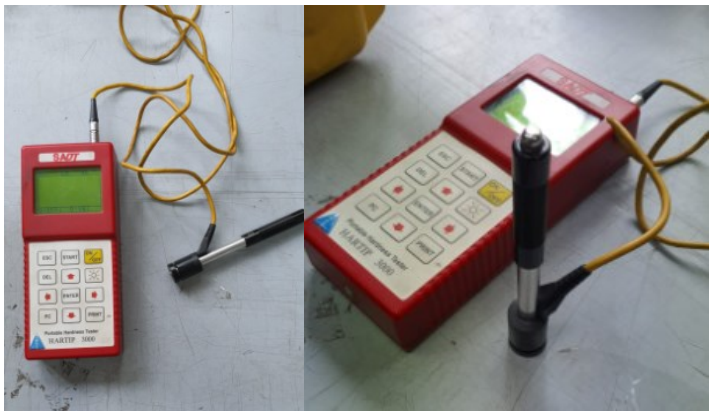


Figura 46 - Durometro portatile HARTIP 3000

Figura 47 - Durometro fisso

3.6 Prove di durata

Le prove di durata, come è evidente dal nome stesso, richiedono diverso tempo per il completamento e per reperire risultati significativi. Di conseguenza il dato riportato nel prossimo capitolo si riferisce ad un periodo di tempo di circa 100 ore nel quale la vangatrice ha operato normalmente su varie tipologie di terreno, da quelli di media consistenza e con molto scheletro, a quelli più sabbiosi.

Capitolo 4

Risultati

In termini di aderenza è accaduto che, durante il montaggio di una vanga Termospruzzata effettuato a forza tramite martello, una piccola quantità di strato metallico di ricopertura si è distaccata dalla superficie del pezzo (foto in allegato). Mentre per tutte le altre vanghe non sono stati riscontrati problemi durante il montaggio.

Figura 48 - Distacco strato termospruzzato da vanga

La compattezza delle parti staccatesi ci suggerisce che l'inconveniente si è verificato a causa di una non perfetta preparazione della superficie di base, che ha compromesso il corretto deposito del nichel-alluminio prima e del carburo di tungsteno poi. Gli strati termospruzzati sono invece compatti, segno della correttezza dei parametri di processo utilizzati.

Nella tabella seguente (pag. 51) sono riportati i valori di durezza ottenuti mediante l'utilizzo del durometro manuale (HARTIP 3000) immediatamente dopo i processi di ricopertura.

Tuttavia, a causa della conformazione irregolare dello strato riportato, le prove non hanno consentito una corretta valutazione della durezza. Pertanto, i risultati ottenuti non sono veritieri e si riportano solo a titolo informativo.

	C45 Stato naturale	Termospruzzatura	Hardfacing
HB	-	198 174 192 195	221 200 240
HV	130	-	-
HRC	-	-	21.9 24.7

Dalla letteratura e da precedenti prove effettuate su altre tipologie di componenti ipotizziamo valori di durezza pari a circa 400 HV10. Tali valori potrebbero essere verificati ripetendo le prove su superfici adeguatamente preparate, ad esempio lavorando di macchina una parte della zona ricoperta al fine di ricavare una superficie idonea all'esecuzione dei test. La necessità di installare le vanghe su una macchina in procinto di operare non ha permesso la lavorazione delle stesse ed un rilievo puntuale e corretto della durezza.

Infine, parlando di durata, durante il periodo di lavoro si sono verificati fenomeni di distacco degli strati termospruzzati. Mentre, per quanto riguarda gli strati riportati con tecnica di Hardfacing, non si sono verificati né fenomeni di usura, né di distacco. Tuttavia, alcune vanghe hanno subìto delle deformazioni durante la lavorazione nel terreno.

Questo fenomeno potrebbe essere attribuito al mancato trattamento di bonifica delle vanghe in C45.

Figura 49 - Vanga deformata dopo lavorazione nel terreno

Per una più corretta valutazione finale le prove di durata sono ancora in corso.

Inoltre, sarà necessario effettuare un processo di bonifica (tempra + rinvenimento) per verificare l'aumento della deformabilità e della durezza della vanga durante il periodo di lavoro nel terreno.

Le fasi da seguire sono le seguenti:

- Smontaggio vanga da vangatrice;
- Raddrizzatura della parte deformata;
- Processo di bonifica;
- Rimontaggio vanga su vangatrice.

Capitolo 5

Conclusioni

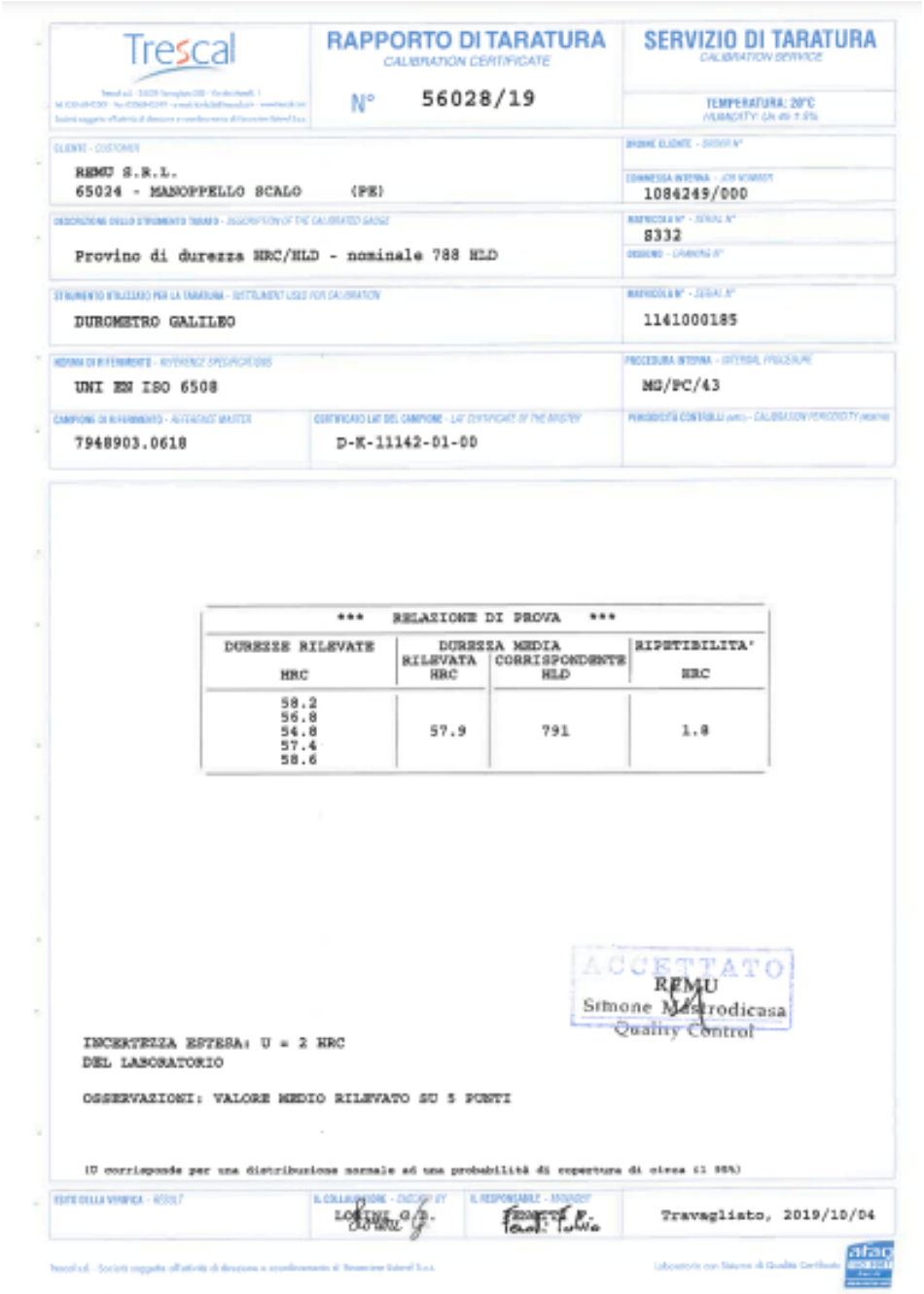
Nel presente elaborato sono state descritte le prove sperimentali che hanno permesso di studiare i processi di Termospruzzatura e Hardfacing al variare delle condizioni di processo.

I risultati ottenuti possono essere così riassunti:

- Il processo di Thermal-Spray è meno consigliato rispetto al processo di Hardfacing in quanto, per quest'ultimo, viene utilizzato meno materiale e la resa è maggiore;
- Il progredire delle prove di durata sarà necessario a valutare la migliore efficienza del processo di Hardfacing in confronto al processo di Thermal-Spray;
- Per poter ottenere migliori risultati è necessario l'utilizzo di vanghe in acciaio al boro bonificato oppure vanghe in C45 con successiva bonifica da sottoporre al processo di Hardfacing.

Appendice

- Certificato di taratura durometro (1)



Trescal

RAPPORTO DI TARATURA
CALIBRATION CERTIFICATE
N° 56028/19

SERVIZIO DI TARATURA
CALIBRATION SERVICE
TEMPERATURA: 20°C
HUMIDITY: UN 49 ± 5%

CLIENTE - CUSTOMER
REMU S.R.L.
65024 - MANOPPELLO SCALO (PE)

ORDINE CLIENTE - ORDER N°

COMMESSA INTERNA - JOB NUMBER
1084249/000

DESCRIZIONE DELLO STRUMENTO TARATO - DESCRIPTION OF THE CALIBRATED GAUGE
Provino di durezza HRC/HLD - nominale 788 HLD

MATRICOLA N° - SERIAL N°
S332

DISEGNO - DRAWING N°

STRUMENTO UTILIZZATO PER LA TARATURA - INSTRUMENT USED FOR CALIBRATION
DUROMETRO GALILEO

MATRICOLA N° - SERIAL N°
1141000185

NORMA DI RIFERIMENTO - REFERENCE SPECIFICATIONS
UNI EN ISO 6508

PROCEDURA INTERNA - INTERNAL PROCEDURE
MG/PC/43

CAMPIONE DI RIFERIMENTO - REFERENCE MASTER
7948903.0618

CERTIFICATO LAT DEL CAMPIONE - LAT CERTIFICATE OF THE MASTER
D-K-11142-01-00

PERIODICITÀ CONTROLLI (mm) - CALIBRATION PERIODICITY (mm/m)

*** RELAZIONE DI PROVA ***

DUREZZE RILEVATE HRC	DUREZZA MEDIA RILEVATA HRC	DUREZZA MEDIA CORRISPONDENTE HLD	RIPETIBILITA' HRC
58.2 56.8 54.8 57.4 58.6	57.9	791	1.8

ACCETTATO
REMU
Simone Mastrodicasa
Quality Control

INCERTEZZA ESTESA: U = 2 HRC
DEL LABORATORIO

OSSERVAZIONI: VALORE MEDIO RILEVATO SU 5 PUNTI

(U corrisponde per una distribuzione normale ad una probabilità di copertura di circa (1 95%)

ESITO DELLA VERIFICA - RESULT

IL COLLABORATORE - ENGINEER BY
LOSINI G.B.

IL RESPONSABILE - MANAGER
FENETTI F.

Travagliato, 2019/10/04

Trescal s.r.l. - Società soggetta all'attività di direzione e coordinamento di Tecnocrate Sistemi S.r.l.

Laboratorio con Sistema di Qualità Certificato

- Certificato di taratura durometro (2)

Trescal

RAPPORTO DI TARATURA
CALIBRATION CERTIFICATE

N° 55205/14

SERVIZIO DI TARATURA
CALIBRATION SERVICE

TEMPERATURA: 20°C
HUMIDITY: UH 45 ± 5%

CLIENTE - CUSTOMER
RENU S.R.L. DI MARASCA GIORGIO
65024 - MANOPPELLO SCALO (PE)

ORDINE CLIENTE - ORDER N°
00275/L
COMMESSA INTERNA - JOB NUMBER
0750011/000

DESCRIZIONE DELLO STRUMENTO TARATO - DESCRIPTION OF THE CALIBRATED GAUGE
Provino di durezza ROCKWELL SCALA C OFFICINE GALILEO

MATRICOLA N° - SERIAL N°
P8
DISEGNO - DRAWING N°
900629

STRUMENTO UTILIZZATO PER LA TARATURA - INSTRUMENT USED FOR CALIBRATION
DUROMETRO GALILEO DG 301

MATRICOLA N° - SERIAL N°
ME-9-85-001

NORMA DI RIFERIMENTO - REFERENCE SPECIFICATIONS
UNI EN 10109-3/ISO 6508-3

PROCEDURA INTERNA - INTERNAL PROCEDURE
MG/PC/43

CAMPIONE DI RIFERIMENTO - REFERENCE MASTER
EP09118835

CERTIFICATO LAT DEL CAMPIONE - LAT CERTIFICATE OF THE MASTER
162482

PERIODICITÀ CONTROLLI mesi - CALIBRATION PERIODICITY months

*** RELAZIONE DI PROVA ***

CARICO APPLICATO	VALORE TEORICO HRC	VALORE RILEVATO HRC
Kg.150	HRC 59.5	59.8 HRC

INCERTEZZA ESTESA: U = 1 PUNTO
DEL LABORATORIO

OSSERVAZIONI: VALORE MEDIO RILEVATO SU 3 PUNTI

ACCETTATO

(U corrisponde per una distribuzione normale ad una probabilità di copertura di circa il 95%)

ESITO DELLA VERIFICA - RESULT

IL CALIBRATORE - CHECKED BY
MASSESSINI V.

IL RESPONSABILE - SIGNED BY
MUSATTI G.

Travagliato, 2014/09/24

Trescal s.r.l. - Società soggetta all'attività di direzione e coordinamento di Finanziaria Sertiga III

Laboratorio con Sistema di Qualità Certificato

- Certificato di taratura durometro (3)

REMU®

RAPPORTO DI TARATURA
CALIBRATION REPORT

MOD. 7.6/03
rev. 03
del /of 13/03/2021
TEMPERATURA - TEMPERATURE: 20°C +/-1°
UMIDITA'- HUMIDITY: UR 45% +/- 5%

REPORT N°	RE. 2250.10/21

CLIENTE - *CUSTOMER*	COMMESSA INTERNA – *JOB NUMBER*
REMU SRL	-

DESCRIZIONE DELLO STRUMENTO TARATO – *DESCRIPTION OF THE CALIBRATED GAUGE*	MATRICOLA N° – *SERIAL N°*
DUROMETRO PORTATILE HARTIP 3000	S329
	DISEGNO N° – *DRAWING N°*
	-

STRUMENTO UTILIZZATO PER LA TARATURA – *INSTRUMENT USED FOR CALIBRATION*	MATRICOLA N° – *SERIAL N°*
BLOCCO CAMPIONE - 59,8 HRC	P8
BLOCCO CAMPIONE - 57,9 HRC	S332

NORMA DI RIFERIMENTO – *REFERENCE SPECIFICATIONS*		PROCEDURA INTERNA – *INTERNAL PROCEDURE*
ISTRUZIONE OPERATIVA - TARATURA STRUMENTI SECONDARI		IST 7.6/01 rev. 07
CAMPIONE DI RIFERIMENTO – *REFERENCE MASTER*	CERTIFICATO DEL CAMPIONE – *CERTIFICATE OF THE MASTER*	PERIODICITA' CONTROLLI (MESI) – *CALIBRATION PERIODICITY (MONTHS)*
P8 S332	08276/04 56028/19	12

PARTE/PROPRIETA' CONTROLLATA	MISURA TEORICA *(HRC)*	TOLLERANZA *(HRC)*	MISURA RILEVATA *(HRC)*
DUREZZA	57,9	+/- 1	57,9
DUREZZA	57,9	+/- 1	57,8
DUREZZA	57,9	+/- 1	57,6
DUREZZA	59,8	+/- 1	59,7
DUREZZA	59,8	+/- 1	59,5
DUREZZA	59,8	+/- 1	59,8

ESITO DELLA VERIFICA – *RESULT*	IL COLLAUDATORE – *CHECKED BY*	
Strumento conforme	***Simone Mastrodicasa***	MANOPPELLO, 01/10/2021

REMU S.r.l.
Via Teramo 20 - 65024 Manoppello (PE) ITALY - Tel +39 085 8581116 – Fax +39 085 8581491

Indice delle figure

Pag.

Figura 1 - Termospruzzatura di un componente meccanico 6
Figura 2 - Trattore agricolo 8
Figura 3 - Interfaccia trattore-macchine 9
Figura 4 - Combinazione macchine 9
Figura 5 - Rulli 10
Figura 6 - Telaio 11
Figura 7 - Vanghe di diverse dimensioni e peso 13
Figura 8 - Elementi costruttivi 15
Figura 9 - Funzionamento 15
Figura 10 - Utensili fresatrici 16
Figura 11 - Erpice 16
Figura 12 - Elementi costruttivi 17
Figura 13 - Principio di funzionamento 17
Figura 14 - Rotore laterale e utensile 18
Figura 15 - Schema di un processo di termospruzzatura 19
Figura 16 - Powder flame spray 19
Figura 17 - High velocity oxy-fuel spray (HVOF) 20
Figura 18 - Plasma spray 20
Figura 19 - Electric arc wire spray 21
Figura 20 - Schema impianto 25
Figura 21 - Pannello di controllo gas, ossigeno e aria compressa 26
Figura 22 – Esempio di pistola 27
Figura 23 - Componenti ugello 27
Figura 24 - Componenti pistola 28
Figura 25 - Dispositivi di protezione e sicurezza 28
Figura 26 - Robot 29
Figura 27 - Tip ottimale di diversi materiali 30

Figura 28 - Bobina su robot 30
Figura 29 - Taglienti (segnati in rosso) 31
Figura 30 - Esempio di sabbiatura 34
Figura 31 – Pistola per Termospruzzatura tramite polvere 36
Figura 32 - Sabbiatura (sx), sabbiatura e Termospruzzatura (centro), sabbiatura, Termospruzzatura e cannello (dx) 38
Figura 33 - Esempio di saldobrasatura 39
Figura 34 - Polvere di stellite 39
Figura 35 – Carta abrasiva per sgrossatura 40
Figura 36 - Cannello per Hardfacing 40
Figura 37 - Vanga saldobrasata 41
Figura 38 - Montaggio vanghe ricoperte su vangatrice (1) 43
Figura 39 - Montaggio vanghe ricoperte su vangatrice (2) 44
Figura 40 - Montaggio vanghe ricoperte su vangatrice (3) 44
Figura 41 - Montaggio vanghe ricoperte su vangatrice (4) 44
Figura 42 - Schema prova di durezza HB 45
Figura 43 - Schema prova di durezza HRB 46
Figura 44 - Impronta prova HV 47
Figura 45 - Schema prova di durezza HV 47
Figura 46 - Durometro portatile HARTIP 3000 48
Figura 47 - Durometro fisso 48
Figura 48 - Distacco strato termospruzzato da vanga 50
Figura 49 - Vanga deformata dopo lavorazione nel terreno 51

Inidce delle tabelle

Pag.

Tabella 1 - Tecniche di termospruzzatura a confronto..... 22

Bibliografia

1. **Wikipedia.** *Trattore agricolo*. [Online] www.wikipedia.com
2. **Tortella Gamma prodotti.** Ortona (CH) : Documentazione per formazione interna - modulo 4 , rev 01-2021 Tortella s.r.l.
3. **Sulzer Metco**. An introduction to Thermal Spray. www.sulzer.com
4. **RRRobotica**. *RRRobotica s.r.l*. Prodotti. Atom10 [Online] www.rrrobotica.it
5. **Saint-Gobain**. *Saint-Gobain coating solution.* [Online] www.coatingsolution.saint-gobain.com.
6. **International ASTM**. Designation : C633 – 13. *Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings*. 2013.
7. **G. Grosso, M. Di Tella**. Prove di durezza. *Progetto Ergon. Corso di tecnologia meccanica*. 2015, Pp.198-211.

Ringraziamenti