



# ACADEMY

Efficienza fino a  $-60^{\circ}\text{C}$   
con il filo animato "metal cored"  
INETUB M71TG

Top edge efficiency down to  $-60^{\circ}\text{C}$  with  
INE TUB M71TG metal cored wire



## Filo animato "metal cored" INETUB M71TG: Efficienza fino a -60°C

Autore: Alvise Miotti Bettanini, PhD

## M71TG metal cored wire by INE: top edge efficiency down to -60°C

By: Alvise Miotti Bettanini, PhD

### L'acciaio nel settore delle costruzioni: qualche dato

Il settore delle costruzioni si conferma trainante per l'economia italiana e per quella europea. Il report 2019 di EUROFER stima per l'Europa un consumo medio mensile di acciaio per il settore delle costruzioni a 4.5 milioni di tonnellate, circa il 34% della domanda totale di acciaio disponibile, che nel 2019 ammontava a 168 milioni di tonnellate. L'Italia produce il 15% dell'acciaio europeo, guadagnando così il secondo posto rispetto agli altri paesi. Rimanendo nel territorio nazionale, il settore delle costruzioni è stimato intorno ai 160 miliardi di euro, equivalente a circa l'8% del PIL (fonte CRESME). In questo contesto, INE rimane impegnata a produrre e fornire ai propri clienti una materiale d'apporto di qualità per assicurare l'affidabilità e la sicurezza di queste importanti strutture metalliche.

### Fili animati "metal-cored": classificazione e caratteristiche

La selezione delle qualità d'acciaio per la costruzione di ponti ed altre strutture metalliche è regolata a livello Europeo dallo standard EN 10025. A seconda delle condizioni di consegna del materiale, le tenacità degli acciai al carbonio devono essere garantite a partire da -20°C (designazione S355 J2) fino ad arrivare a -60°C (S460 QL1). La selezione di consumabili appropriati per la saldatura di queste leghe è quindi fondamentale per garantire le proprietà meccaniche della struttura.

I fili animati "metal-cored" sono classificati secondo le norme AWS e ISO, riportate nella Tabella 1 e Tabella 2. Nella norma americana AWS 5.36, i fili animati "metal-cored" sono contraddistinti dalla designazione "T15", che è il codice assegnato ai fili animati con anima interamente metallica, quindi privi di flusso rutilico o basico. Oltre allo standard AWS, l'Unione Europea adotta il proprio sistema di classificazione EN ISO 17632, riportato sotto in tabella, nella quale i fili metal-cored sono contraddistinti dalla lettera "M".

### INE commitment to the infrastructure sector

The infrastructure sector is as a mayor driving force for the European and Italian economies. According to the 2019 report from EUROFER, the monthly steel consumption for the European infrastructure sector amounts to 4.5 million tons, equivalent to 34% of the total demand of European steel, which in the year 2019 was equivalent to 168 million tons. The infrastructure sector in Italy, which is the second European steel maker with 15% market share, amounts to 160 billion euros, equivalent to 8% of the country's GDP. In this context, INE remains committed to supply high quality filler materials to ensure reliability and safety of these critical steel-made infrastructures.

### Classification and characteristics of metal cored wires

The selection of steel grades for the infrastructure industry is regulated at the European level by the standard EN 10025. Depending on the delivery conditions of the material from the manufacturer, typical impact toughness of non-alloyed carbon steels needs to be guaranteed from -20°C (as an example in the alloy S355 J2) down to -60°C (S460 QL1). Hence, the selection of welding consumables needs to be made accordingly to match the mechanical properties of the base material.

Metal cored wires are classified according to AWS and ISO classification systems, as reported in the Tables below. AWS 5.36 is the latest and most comprehensive AWS classification system in which metal cored wires are classified as T15, which is the number that highlights the presence of all-metal powder inside the composite wire construction. In addition to the AWS standard, the European Union has its own identification standard for welding filler materials, which gives more details about the usability and the mechanical properties of welding consumables. Here, "M" stands for metal-cored wires.

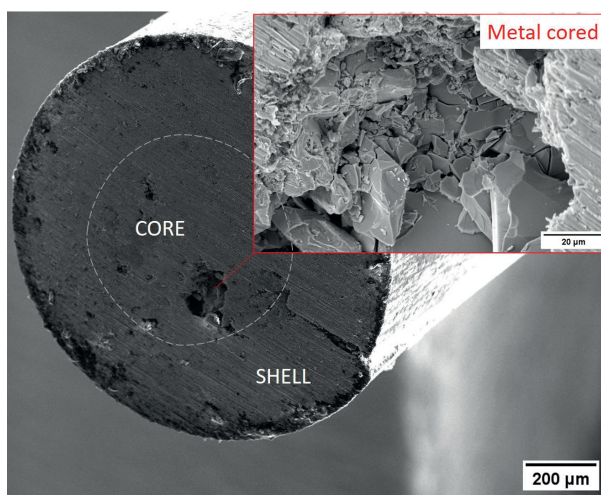


Fig. 1 Micrografia SEM che mostra la costruzione composta del filo "metal-cored".  
Fig 1 SEM micrograph showing the shell-core construction of metal-core wire

Tabella 1 Norma AWS per la classificazione di fili animati metal cored

Table 1 Classification system of an all-position flux cored wire electrodes for welding of C-Mn steels according to AWS 5.20

#### AWS 5.36 E71T15-M21A4-CS1 H4

E	Identifica un elettrodo per saldatura ad arco	Identifies an arc welding electrode
7	Resistenza alla trazione (70'000 psi = 490 MPa)	Tensile strength (70'000 psi = 490 Mpa)
1	Posizioni di saldatura (1= tutte)	Welding position (1= all position)
T	Identifica un elettrodo composito tubolare	Identifies a composite wire electrode (tubular)
15	Identifica l'utilizzo. (15 = metal-cored)	Usability designator. (15 = metal-cored)
M21	Gas di protezione, M21 Ar-CO2 20%	Shielding gas, M21 Ar-CO2 20%
A4	Identifica le caratteristiche di tenacità. A4 = -40°C in condizioni "as-welded".	Impact toughness designator: -40°C in the as-welded (A) conditions
CS1	Identifica la composizione chimica	Composition designator

**Tabella 2** Norma europea EN ISO per la classificazione dei fili animati metal-cored

**Table 2** Classification system of an all-position flux cored wire electrodes for welding of C-Mn steels according to EN ISO 17632-A

### EN ISO 17632-A: T 46 4 M M21 2 H5

<b>T</b>	Identifica un elettrodo tubolare composito	Identifies a tubular composite electrode
<b>46</b>	Resistenza alla trazione (46 = 460 MPa)	Yield strength (46 = 460 MPa)
<b>4</b>	Tenacità (4 = min. 47 J a -40°C)	Impact toughness (4 = min. 47J at -40°C)
<b>M</b>	Identifica un filo "metal-cored"	Identifies a metal-cored composite wire
<b>M21</b>	Gas di protezione. M21 = Ar-CO2 20%	Shielding gas. M21 Ar-CO2 20%
<b>2</b>	Posizioni di saldatura (tutte le posizioni. Esclusa verticale discendente)	Welding position (all position. Vertical down excluded)
<b>H5</b>	Idrogeno diffusibile (< 5ml/100g)	Diffusible hydrogen (< 5 ml/ 100g)

**Tabella 3** Approvazioni Enti terzi per INETUB M71TG

**Table 3** List of approvals form third party for INETUB M71TG

### Approvazioni ottenute da INETUB M71TG List of Approvals for INETUB M71TG

<b>ABS</b>	4Y H5
<b>DB</b>	T 46 2 M M21 2 H5
<b>DNV-GL</b>	IV YMS H5
<b>LR</b>	DXVuO-BF-4YS-H5-NA
<b>RINA</b>	4Y S H5
<b>TUV</b>	T 46 4 M M21 2 H5

In aggiunta a questi due sistemi di classificazione, INETUB M71TG è certificato da enti terzi riconosciuti come ABS, DB, RINA e TUV, come elencato in Tabella 3.

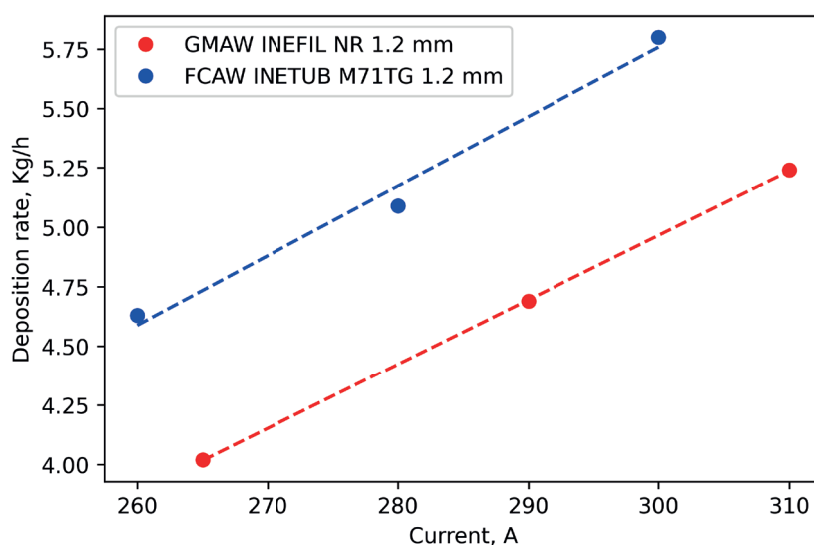
Beside these standard classification systems, INETUB M71TG is further approved by third party organizations such as ABS, DB, RINA and TUV. Table 3 covers the list of approvals for INETUB M71TG.

## Fili metal cored: la soluzione per la saldatura robotizzata

I fili animati "metal-cored" sono prodotti con gli stessi processi produttivi dei fili animati rutilici basici, ma si comportano in modo simile a fili pieni per la saldatura GMAW. I fili animati metal-cored sono costituiti da una piattina in acciaio dolce avvolta su di un nucleo composto di polvere metallica più o meno legata per ottimizzare il rendimento della saldatura. La versatilità di questo approccio consente la produzione di lotti con composizione ottimizzata, e s p r e s s i v a m e n t e progettata dal nostro R&D interno sulla base di simulazioni metallurgiche combinate con la nostra pluridecennale esperienza nel campo della saldatura. Da questo nasce INETUB M71TG, la proposta metal-cored INE per la saldatura di acciai con resistenza alla trazione fino a 500 Mpa e tenacità elevate certificate a -40°C e testate fino a -60°C. I dati meccanici sono riportati integralmente in Tabella 4.

## Metal cored wires: the best solutions for robotic welding

Metal cored wires combine the best of two welding processes. They share the same production methods of flux cored wires (FCAW) but perform like solid GMAW wires. Metal cored wires consist of a core-shell construction of a C-Mn steel shell and metal powder core, which adds the right amount of alloying elements in the weld bead. The versatility of this approach allows the production of small batch with optimized composition, specifically designed by our in-house R&D department to meet a wide range of operative targets. INETUB M71TG is designed from the ground up for the welding of C-Mn steels with yield strength up to 500 MPa and high toughness down to -60°C. Table 4 summaries all the relevant mechanical properties of all-weld metal in the as-welded conditions.



**Fig. 2** Tasso di deposito in funzione dell'intensità di corrente per il filo animato metal cored INETUB M71TG e il filo pieno INEFIL NR. Il tasso di deposito di INETUB M71TG è di circa il 20% superiore in un ampio intervallo di parametri. Dati interni INE.

**Fig 2.** Deposition rate vs. current for INETUB M71TG and INEFIL NR. The deposition rate of INETUB M71TG is up to 20% higher for a wide range of parameters. Data INE.

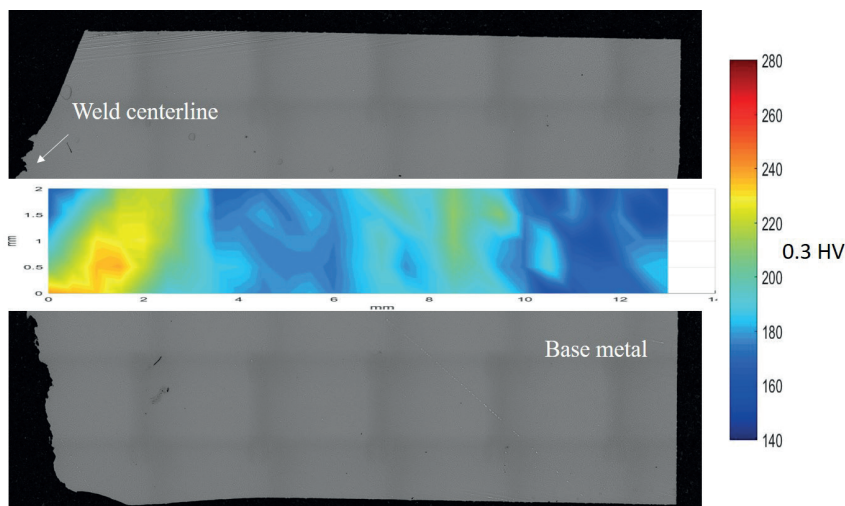
**Tabella 4** Caratteristiche meccaniche di un deposito M71TG in condizioni "as-welded"  
**Table 4** Mechanical characterization of INETUB M71TG all-weld bead

**Caratteristiche meccaniche del deposito | Weld metal mechanical properties**

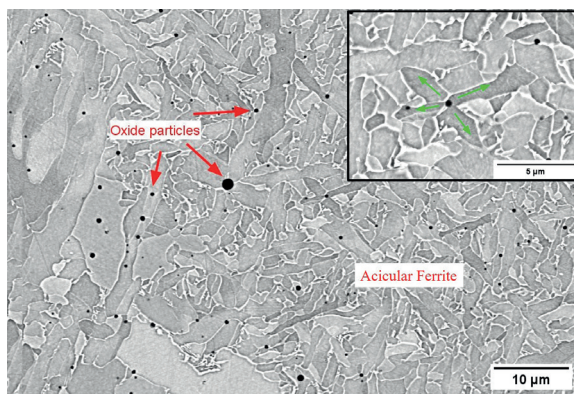
Gas	Yield Strength, MPa	Tensile Strength, MPa	Elongation (%)	Impact energy, Joule		
				-20° C	-40° C	-60° C
M21 As welded	500	575	26	110	80	70

I fili animati "metal-cored" sono rinomati per la loro efficienza. La costruzione composita di un filo animato (Figura 1) permette di raggiungere alte densità di corrente. Questa caratteristica si traduce in un tasso di deposito<sup>1</sup> circa il 20% superiore rispetto ad un filo pieno GMAW. Questo dato é confermato da test interni effettuati sul nostro filo metal-cored INETUB M71TG e la nostra proposta GMAW non ramata INEFIL NR. La figura 2 dimostra come il tasso di deposito di INETUB M71TG sia superiore per un ampio intervallo di parametri utilizzati. In aggiunta, i fili animati "metal-cored", come la controparte GMAW, formano saldature prive di scoria, rendendo quindi possibile l'utilizzo dei fili "metal-cored" in saldature a passata multipla automatiche, aumentando ulteriormente

*Metal-cored wires are well-known for their efficiency. The core-shell construction allows to achieve higher current density, which increases the deposition rate<sup>1</sup> of about 20% compared to GMAW wires. This is confirmed by our in-house tests shown in Figure 2, in which we compare the INETUB M71TG metal cored with INEFIL NR solid wire. The metal-cored wires outplay solid wires for a wide range of processing parameters. Moreover, metal-cored wires do not form any slag on the weld surface, which allows multi-pass welding without inter-pass cleaning. This adds up to a deposition efficiency<sup>2</sup> around 98%, which makes metal cored wires an ideal solution for continuous robotic welding.*



**Fig. 3** Mappatura della durezza Vickers che mostra l'evoluzione della durezza in funzione della distanza dal centro della saldatura. Le durezze maggiori sono registrate in prossimità del centro a causa della presenza di ferrite aciculare a grano fine.  
**Fig. 3** Vickers hardness map which shows the evolution of hardness as a function of the distance from the weld centerline. The highest hardness close to the center is due to the presence of fine-grained acicular ferrite.



**Fig.4** Micrografia SEM della microstruttura del giunto, composta essenzialmente da ferrite aciculare. L'insero mostra la germinazione delle lamelle di ferrite a partire da ossidi.  
**Fig. 4** SEM micrograph showing acicular ferrite as the main microstructure of the weld. Higher magnification shows the nucleation of acicular ferrite laths at micro-scale oxide particles.

<sup>1</sup> Tasso di deposito: quantità materiale depositato in un'ora di lavoro

<sup>1</sup> Deposition rate: the weight of weld metal deposited during an hour of welding  
<sup>2</sup> Deposition efficiency: the weight ratio between deposited metal and filler material



la loro efficienza. Queste caratteristiche, insieme ad un quasi totale assenza di spruzzi, contribuiscono ad un rendimento intorno al 98%<sup>2</sup>, ideale per una soluzione di saldatura continua con impianto robotico.

## Affidabilità nella saldatura fino a -60°C

I nostri fili animati "metal-cored" soddisfano rigorosi standard per garantire delle proprietà meccaniche ottimali fino a -60°C. INETUB M71TG è certificato vdTUV EN ISO 17632-A – T 46 4 M M21 2 H5, che si traduce in garanzia

di una tenacità Charpy superiore ai 47 J a -40°C. Questo è possibile grazie ad un raffinato controllo della metallurgia del giunto saldato tramite una progettazione della composizione chimica del filo animato al fine di produrre delle microstrutture tenaci già dalla prima passata. E' noto come la ferrite aciculare sia la microstruttura che garantisce la migliore tenacità nella saldatura degli acciai C-Mn. Questa struttura, grazie alla sua morfologia intrecciata, impedisce il propagarsi di cricche all'interno del materiale, aumentando quindi la tenacità.

Al fine di garantire ai nostri clienti un'affidabilità nella saldatura, i principi metallurgici che definiscono le proprietà meccaniche osservate devono essere studiati e compresi attraverso una caratterizzazione microstrutturale completa e approfondita del giunto saldato. La figura 3 mostra una mappatura della durezza osservata in una delle due metà di un campione Charpy testato a -40°C. Il materiale è "all-weld" saldato con INETUB M71TG a 280 A e una velocità di saldatura di 32 cm/min con gas di protezione M21. La mappatura della durezza mostrata in Figura 3 ci permette di trarre delle informazioni importanti sulle trasformazioni microstrutturali che avvengono durante il processo di saldatura. Il margine sinistro della figura corrisponde al centro della saldatura, che è contraddistinto da una microstruttura a grano fine è composta essenzialmente da ferrite aciculare. Questa struttura è contraddistinta da una durezza maggiore rispetto alle altre zone del giunto saldato. La durezza decresce allontanandosi dal centro della saldatura a causa della comparsa di microstrutture a grano più grosso nella Zona Termicamente Alterata (ZTA) fino ad assestarsi su di un valore intorno ai 160 HV in corrispondenza del materiale base (acciaio S355). La figura 4 mostra una micrografia della zona a durezza maggiore che consiste in ferrite aciculare, contraddistinta da una morfologia a stella intrecciata, tipica di questa microstruttura. Una caratterizzazione ad ingrandimenti ancora maggiori resa possibile dal microscopio a scansione elettronica rivela che la ferrite aciculare germina a partire da particelle di ossido di dimensioni micrometriche. La composizione e la taglia di quest'ultime sono appositamente progettate in modo da precipitare solo ossidi che stimolano la formazione di ferrite aciculare, aumentando l'efficacia di questa microstruttura alle basse temperature.

## Conclusioni

L'utilizzo del filo INETUB M71TG apporta i seguenti vantaggi in saldatura:

- alto rendimento
- alti tassi di deposito
- assenza di scoria
- spruzzi contenuti
- alte velocità

Questi fattori permettono di aumentare l'efficienza di tutta la linea produttiva.

INETUB M71TG assicura una saldatura affidabile ed efficiente per il settore delle costruzioni, assicurando eccellenti proprietà meccaniche fino a -60°C grazie alle ricerche effettuate dal nostro laboratorio R&D interno utilizzando le migliori tecniche di caratterizzazione metallurgica.

## Safety down to -60°C

*Our metal cored wires satisfy approvals from third party entities to guarantee sound mechanical properties, above all Charpy impact toughness down to -60°C. Our M71TG metal cored wires are approved vdTUV EN ISO 17632-A - T 46 4 M M21 2 H5, which is a guarantee of impact toughness above 47 J at -40°C with M21 shielding gas. This is achieved metallurgy of the weld bead through a careful design of the chemical composition of INETUB M71TG core, thus forming resilient microstructures from the first weld bead. From the metallurgical viewpoint, high impact toughness at low temperature is achieved by optimizing the composition of the filler material in order to promote the formation of tough and strong microstructure in the as-welded joint. It is well known that the most desirable microstructure in C-Mn steel welds is the so-called acicular ferrite. This structure, due to its interlocking star-shaped morphology, impedes crack propagation, thus increasing material toughness .*

*To deliver the most reliable solutions to our customer, the metallurgical features that set the mechanical properties of our filler materials must be understood through a comprehensive characterisation of the weld joint. Figure 3 shows the hardness map across one of the two halves of a Charpy test sample that was previously successfully tested at -40°C. The sample consists of all-weld metal welded with INETUB M71TG at 280 A with a travel speed of 32 cm/minute using M21 shielding gas. Hardness mapping gives the distribution of hardness values across the weld, which follows the different microstructural transformations that take place during the welding process. Figure 3 shows that hardness is the greatest at the left-hand side of the sample, which corresponds to the weld center-line. This is the result of the quick solidification of metal, which transforms into very fine and strong acicular ferrite microstructure. When moving towards the right, hardness is decreasing due to the formation of larger grains in the Heat Affected Zone (HAZ) and it finally reaches a constant value of 160 HV in the base material (right-hand side of Fig. 3). Figure 4 shows a micrograph of the hardest zone in the all-weld sample. It displays a fully acicular ferrite microstructure showing its typical star-shaped interlocking morphology. Higher magnification SEM (Scanning Electron Microscope) micrographs show that the nucleation of acicular ferrite takes place at micro-sized oxide inclusions, which aid the formation of acicular ferrite. Since only oxide within a certain range of size and composition are beneficial for the formation of tough acicular ferrite microstructure, it is critical to be able to control the chemistry and size of oxide particles through a careful design of filler metal compositions.*

## Conclusion

In summary, when considering all the benefits such as:

- high deposition efficiency
- high deposition rate
- slag-free welds
- low spatter
- high travel speed

*Metal cored wires could improve the productivity of welding lines, whether those are performed by human welders or by robots. INETUB M71TG ensures reliable welding conditions for the infrastructure sector, giving excellent impact toughness down to -60°C thanks to our extensive in-house know-how at INE.*

**Alvise Miotti Bettanini, PhD**  
alvise.miotti@ine.it  
Product Manager  
INE SpA

<sup>2</sup> Rendimento: rapporto tra peso metallo depositato e peso consumabile



INE SpA  
Via Facca, 10 - 35013 Cittadella (PD)  
Tel +39 049 9481111 - Fax +39 049 9400249  
[ine@ine.it](mailto:ine@ine.it)  
[www.ine.it](http://www.ine.it)