UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI **INGEGNERIA**

Corso di Laurea triennale

CLASSIFICAZIONE, IMPIEGHI E CENNI SULLA REALIZZAZIONE DI VITERIA STAMPATA A FREDDO E RULLATA

CLASSIFICATION, USES AND NOTES ON THE PRODUCTION OF COLD PRESSED AND ROLLED FASTENERS

Relatore: Chiar.mo/a

Prof. **Amodio Dario**

Tesi di Laurea di:

Brunacci Federico

A.A. **2021 / 22**

INDICE

1 introduzione

1.1 definizioni pg.1
1.2 storia pg.3
1.3 principio funzionamento pg.5

2 classificazione viti fissaggio con riferimenti a normative e applicazioni/impieghi

2.1 testa della vite pg.7
2.1.1 tipologie di testa pg.7

2.2 filetto pg.20

2.2.1 filetto metrico e per metalli pg.20

2.2.2 viti per materie plastiche pg.27

2.2.3 viti per legno pg.31

3 cenni sulla produzione di viteria stampata e rullata

3.1 materia prima pg.33
3.2 stampaggio a freddo pg.36

3.3 rullatura del filetto pg.39

3.4 trattamenti termici pg.41
3.5 trattamenti superficiali pg.45

4 conclusioni

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio la mia famiglia per il supporto durante il mio percorso di laurea nonostante le difficoltà e tutti i miei amici che sono sempre stati disponibili oltre che di inspirazione e motivazione e in particolare ad entrambi per avermi dato la fiducia e la serenità necessaria per portare a termine questo percorso.

Inoltre ringrazio tutto il personale della Sicurvit per la fantastica esperienza lavorativa che non dimenticherò e che mi sarà sicuramente utile in futuro.

Infine ringrazio il professore Dario Amodio per avermi dato la possibilità di svolgere questa tesi relativa alla mia esperienza lavorativa e per avermi seguito nella sua realizzazione.

1. INTRODUZIONE

1.1 DEFINIZONI

La vite di fissaggio è un elemento usato per effettuare un collegamento, all'occorrenza smontabile, tra componenti meccanici adatto a resistere a carichi esterni elevati ed è costituita da un gambo cilindrico su cui si avvolge un rilievo elicoidale di sezione triangolare chiamato filetto. Una vite si dice a filetti multipli o a più principi quando più filetti di diverso profilo sono avvolti in maniera alternata sullo stesso cilindro. Una filettatura è caratterizzata dai seguenti parametri principali:

Diametro esterno: diametro misurato sulle creste di filettatura.

Diametro di nocciolo: diametro misurato sul fondo dei filetti.

Diametro medio: valore medio tra i due precedenti.

Passo: è la distanza fra due creste adiacenti misurata lungo la parallela all'asse della vite; nelle viti a più principi si distinguono passo effettivo, ossia distanza tra due creste dello stesso tipo e passo apparente, che rappresenta la distanza tra due creste adiacenti misurata sempre in direzione assiale.

Avanzamento: distanza percorsa nel compiere una rotazione, nelle viti a un principio esso coincide con il passo, mentre in quelle a più principi coincide con un multiplo del passo pari al numero di principi.

Verso dell'elica: nella maggior parte dei casi il verso dell'elica è destrorso, ciò significa che il senso di avvitamento è orario; tuttavia esistono anche viti sinistrorse e quindi con senso di avvitamento antiorario.

Figura 1.1: esempio di vite a due principi per materie plastiche [1]

Se il filetto viene realizzato sulla superficie esterna di un cilindro si parla di vite, se esso è realizzato sulla superficie interna, invece, si dice madrevite e costituisce la sede in cui si inserisce la vite; l'accoppiamento tra i due genera un collegamento filettato. La madrevite in particolare può essere realizzata su una delle parti da collegare o può essere costituita da un dado, cioè un elemento di forma esagonale con foro filettato in grado di accogliere la vite; questo tipo di accoppiamento si chiama bullone. Le viti di fissaggio possono appartenere alle seguenti categorie:

Vite mordente: composta da un gambo filettato completamente o parzialmente e da una testa di forma variabile che consente l'accoppiamento con un utensile per effettuare l'avvitamento o lo svitamento mediante l'applicazione di una coppia. Si parla di vite passante quando essa non si avvita in una delle parti da collegare, ma direttamente su un dado situato all'altra estremità del foro.

Prigioniero: particolare tipo di vite filettata in entrambe le estremità separate da una parte non filettata; non essendo dotato di testa il prigioniero si inserisce nella madrevite tramite dado e controdado. Viene impiegato quando non è possibile o conveniente praticare un foro passante in entrambi i pezzi da unire, non si può quindi usare un normale bullone.

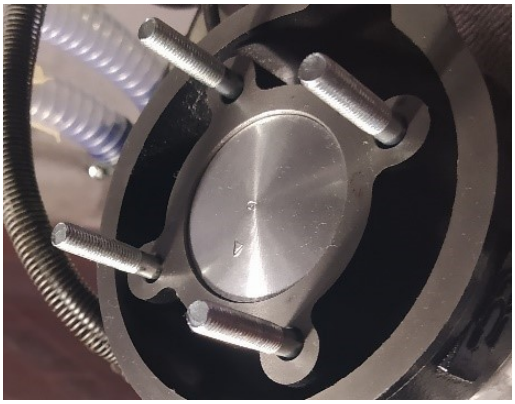


Figura 1.2: prigionieri testata di un motore monocilindrico di piccola cilindrata

Barra filettata: barra filettata in tutta la sua superficie, usate in edilizia civile e industriale, infrastrutture, impiantistica e carpenteria.

Comunemente si caratterizza una specifica vite tramite la sua misura, ad esempio "*M4X20*" dove la dicitura "*M*" sta ad indicare la tipologia di filettatura, che in questo caso è metrica, la cifra successiva rappresenta il diametro esterno del filetto in millimetri e il numero dopo il simbolo "*X*" la lunghezza della parte filettata nella stessa unità di misura; è possibile anche che venga indicato il valore del passo della filettatura.

1.2 STORIA

L'invenzione della vite è comunemente attribuita al matematico greco Archita. Proclo, filosofo e matematico bizantino, scrive che Apollonio di Perga, astronomo e matematico greco antico, aveva

dimostrato che l'elica cilindrica è una curva omeomerica tale che dati due suoi punti arbitrari, esiste una trasformazione rigida che trasforma la curva in sé stessa e manda il primo punto nel secondo, cioè che la curva può scorrere su sé stessa, ovvero il principio che spiega il funzionamento delle viti cilindriche. Nel I secolo a.C. viti di legno erano già in uso nel mondo mediterraneo, per esempio nei torchi per la produzione di olio e vino.

Figura 1.3: torchio a vite conservato nel museo del vino della cantina Frrud in provincia di Bari

Peraltro Lucio Russo, fisico matematico e storico italiano del '900, argomenta a favore dell'esistenza di torchi nel II secolo a.C.. Erone di Alessandria descrive un procedimento basato su una progettazione scientifica per produrre viti cilindriche con madrevite; la collocazione storica di questo matematico, ingegnere e inventore alessandrino non è sicura e oscilla tra il I e III secolo. Le viti metalliche apparvero per la prima volta in Europa nel XV secolo, ma non divennero di uso comune fino a quando non fu introdotto un sistema per la loro produzione di massa nel XVIII secolo.
L'ingegnere britannico Henry Maudslay brevettò un tornio per la fabbricazione di viti nel 1797 e un dispositivo simile fu brevettato l'anno successivo negli Stati Uniti da David Wilkinson.

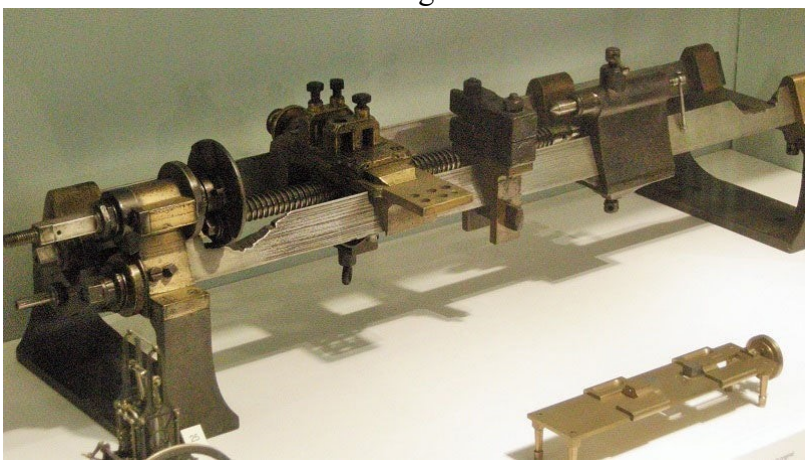


Figura 1.4: tornio per il taglio di viti costruito da Henry Maudslay e conservato nel museo della scienza di Londra

Durante la Seconda guerra mondiale la standardizzazione dei filetti ebbe un forte incremento per permettere alle nazioni alleate di scambiarsi componenti e pezzi di ricambio. A J.P. Thompson si deve invece l'invenzione della vite con testa a croce, brevetto che vendette a Henry Phillips, fondatore della Phillips Screw Company, da cui prende il nome la tipica impronta a croce chiamata "PH". Phillips ebbe notevoli difficoltà a trovare un'officina in grado di intagliare il nuovo tipo di testa, fino a quando contattò la giovane società American Screw Company che credette ed investì nell'idea, ottenendo un

notevole successo; poco dopo i due enti brevettarono un nuovo tipo di vite, la “pozidriv” comunemente abbreviata con la sigla PZ. Sono proprio le sagome delle teste a distinguere le diverse tipologie di questi indispensabili elementi di fissaggio.

1.3 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

La vite è un’applicazione particolare del principio del cuneo o piano inclinato con applicazione di una forza F parallela alla base del piano inclinato. Il cuneo è costituito dall'elica del filetto, che si avvolge sul cilindro della vite e preme su un piano rappresentato dal filetto contrapposto.

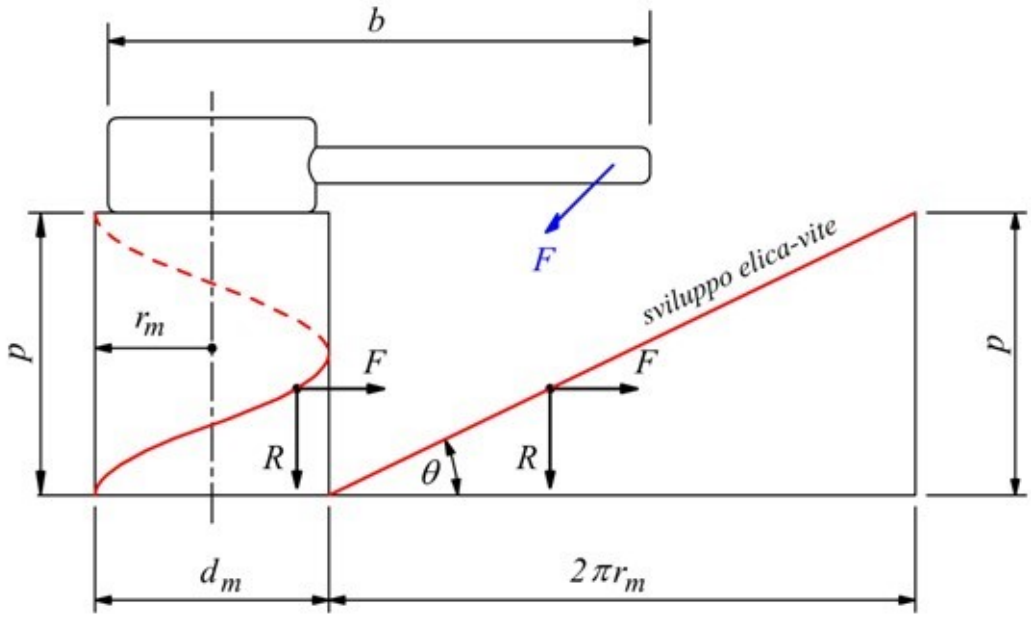


Figura 1.5: cilindro di diametro medio della filettatura schematizzato affiancato da piano inclinato [5]

La forma elicoidale del filetto si ottiene avvolgendo un triangolo rettangolo di base $2\pi r_m$ ed altezza p sul nucleo cilindrico della vite. Nello spazio tridimensionale l'ipotenusa del triangolo si dispone secondo una curva ad elica. La resistenza R agisce assialmente e sale lungo l'elica (lungo il piano inclinato) per effetto della forza F applicata orizzontalmente che provoca il moto di rotazione. In realtà le due forze sono distribuite sul numero di filetti in presa fra vite e madrevite.

Ad ogni giro la forza F compie uno spostamento uguale alla circonferenza media della vite producendo un lavoro:

$$L_F = F \cdot 2\pi \cdot r_m$$

La resistenza si sposta di un passo producendo un lavoro:

$$L_R = R \cdot p$$

Per il principio dei lavori virtuali:

$$F \cdot 2\pi \cdot r_m = R \cdot p \quad \longrightarrow \quad F = \frac{R \cdot p}{2\pi \cdot r_m}$$

Nella pratica la forza F non è applicata direttamente alla vite, ma all'estremità di una leva (utensile, chiave) e viene trasferita all'elica nella forma:

$$\frac{F \cdot b}{r_m} = \frac{R \cdot p}{2\pi \cdot r_m} \quad \longrightarrow \quad F = \frac{R \cdot p}{2\pi \cdot r_m} \cdot \frac{r_m}{b} \quad \longrightarrow \quad F = \frac{R \cdot p}{2\pi \cdot b}$$

La formula precedente viene quindi corretta.

Dato che $p<<2b$, allora $F<<R$ e quindi il vantaggio della vite è alto e unico rispetto a tutte le altre macchine semplici (che non si possono ulteriormente scomporre).

Si nota poi, considerando θ angolo di inclinazione del piano, che:

$$tg\theta = \frac{p}{2\pi\, r_m} \quad \longrightarrow \quad F = R \cdot tg\theta \cdot \frac{r_m}{b}$$

La forza da impiegare cambia se si considera l'attrito:

$$F_e = R \cdot \frac{r_m}{b} \cdot tg(\theta + \phi)$$

Dove ϕ è l'angolo di attrito e la sua tangente equivale al coefficiente di attrito:

$$tg\phi = f$$

Si definisce rendimento della vite il rapporto tra F ed F_e; per le viti di fissaggio il rendimento deve essere basso in quanto non devono svitarsi facilmente per mantenere il collegamento.

$$\eta = \frac{F}{F_e}$$

Per evitare che la vite si sviti spontaneamente, l'inclinazione del piano deve essere minore dell'angolo di attrito e in quel caso si parla di vite autobloccante, un termine usato nell'ambito delle viti di manovra. Per quanto riguarda le viti di fissaggio, invece, un filetto con passo grosso può allentarsi con più facilità rispetto ad uno con passo fine. Inoltre i coefficienti di attrito dei materiali contribuiscono significativamente alla determinazione del limite di slittamento.

I collegamenti filettati svolgono la loro funzione in virtù delle forze che i filetti della vite e madrevite si trasmettono e del vincolo cinematico che essi costituiscono. Ad un movimento rotatorio è abbinato un movimento di avanzamento assiale; tramite basse forze tangenziali si riescono a ottenere elevate forze assiali e grandi movimenti tangenziali generano piccoli movimenti assiali.

2. CLASSIFICAZIONE VITI FISSAGGIO

2.1 TESTA DELLA VITE

[1] [2] [3] La testa di una vite è quella parte, comunemente situata alla sua estremità, che consente l'inserimento di un utensile per effettuare l'avvitamento o lo svitamento mediante l'applicazione di una coppia. Più precisamente si definisce *impronta* la cava presente sulla testa della vite, mentre l'*inserto* è quella parte dell'utensile che si accoppia con l'impronta. Esistono diverse tipologie di testa, ognuna delle quali viene abbinata ad una determinata impronta (in alcuni casi una combinazione di due impronte diverse), la scelta delle due viene definita dal tipo di applicazione della vite o, in alcuni casi, da motivi estetici. Le dimensioni e le tolleranze delle teste e delle loro impronte (a volte chiamate anche *cave*) sono regolate da normative unificate che hanno lo scopo di standardizzare questi elementi

meccanici; tuttavia può capitare che una vite venga prodotta su specifico disegno del cliente che la richiede.

Figura 2.1: esempio di viti con testa stampata, ma non ancora filettate [1]

2.1.1 TIPOLOGIE DI TESTA

Di seguito vengono elencate le tipologie di testa più usate e le relative applicazioni con alcuni estratti delle normative di riferimento.

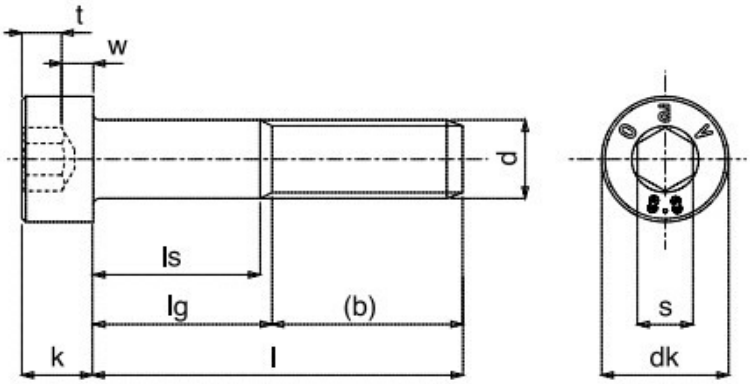
- *Testa cilindrica*: la forma della testa è di tipo cilindrico di altezza e diametro variabile con un leggero raccordo in testa che, nel caso di viteria stampata, prende il nome di raggio di stampaggio. La vite a testa cilindrica viene impiegata soprattutto quando non ci sono problemi di ingombro derivati dalla testa e la coppia di serraggio da applicare è molto elevata. Quando si lavora con questo tipo di viti la facilità di serraggio è dovuta soprattutto alla profondità dell'impronta perché più è fonda e maggiore sarà la sicurezza, bisogna però tenere a mente che l'impronta non può superare una certa profondità per evitare che si riduca la sezione resistente all'inizio del gambo filettato e che quindi la vite si infragilisca rischiando di arrivare a rottura sotto stress. La normativa italiana più recente, la *UNI 5931:2003*, faceva riferimento a viti metriche con passo fine, con testa cilindrica e cava esagonale; essa risulta attualmente ritirata

  in favore della normativa europea *EN ISO 4762:2007* che specifica le caratteristiche di viti a testa cilindrica con cava esagonale e filettature da *M1.6* a *M64*. Nonostante gli standard facciano riferimento a cave esagonali, è possibile realizzare teste cilindriche con altre tipologie di impronte in base all'applicazione che ne verrà fatta dall'utilizzatore finale, come per esempio impronte a croce o esalobate (torx). Esistono alcune sottocategorie per le viti a testa cilindrica: *Testa cilindrica bassa*: vengono usate nei casi in cui è richiesto un ingombro minore e anche la coppia da applicare è ridotta, la profondità della cava è proporzionale all'altezza della testa. *Testa cilindrica con calotta o bombatura*: vengono usate nei casi in cui è richiesto un ingombro minore, ma una buona presa sull'impronta; è quindi presente una bombatura sulla sommità della testa al posto della normale terminazione piatta.

Figura 2.2: esempio di una vite zincata a testa cilindrica con cava esagonale [1]

Figura 2.3: esempio di vite zincata a testa cilindrica bassa con croce Phillips [1]

Figura 2.4: estratto della normativa ISO 4762 per viti a testa cilindrica con cava esagonale [4]



Viti testa cilindrica con esagono incassato

d	4x0,7	5x0,8	6x1	8x1,25	10x1,5	12x1,75	14x2	16x2	18x2,5	20x2,5	24x3
dk	7	8,5	10	13	16	18	21	24	27	30	36
k	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24
s	3	4	5	6	8	10	12	14	14	17	19
t min.	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10	12
w min.	1,4	1,9	2,3	3	4	4,8	5,8	6,8	7,8	8,6	10,4
b	20	22	24	28	32	36	40	44	48	52	60
ls min.	ls min. = lg max - 5 volte il passo										
lg max.	lg max = l - b										

- *Testa bombata:* si tratta di una testa dalla forma arrotondata superiormente e piatta nella parte inferiore usata quando la testa della vite non affonda completamente nella superficie da forare e quindi ha anche una funzione estetica; capita, per esempio nel legno, che la testa della vite rimanga in superficie per non creare crepe nel materiale. La variante a *testa bombata larga*, comunemente chiamata *TBL*, è utilizzata quando c'è la necessità di fissare componenti su cui sono praticati grandi fori, come per esempio lamiere o pannelli, tramite l'ampia superficie piatta sotto la testa; in base al tipo di filettatura che viene realizzata, esse possono essere avvitate su metallo, plastica o legno. Un'ulteriore variante è la testa bombata con bordino o finta rondella (sigla *FR*) che presenta una parte piatta attorno alla bombatura molto simile ad una rondella, questo elemento ha lo scopo di allargare ancora di più la parte liscia sotto testa per aumentare la superficie di appoggio nelle applicazioni in cui è richiesta.

Figura 2.5: vista laterale di una vite a testa cilindrica bombata [4]

Figura 2. 6: vista laterale di una vite a testa bombata [4]

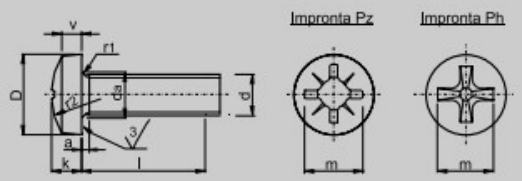
Le viti a testa bombata possono essere confuse con quelle a testa cilindrica con calotta per via della loro somiglianza, ma presentano delle differenze. Una vite a testa bombata è formata dalla sola calotta arrotondata a differenza della vite a testa cilindrica con calotta che presenta una bombatura che sormonta una parte cilindrica. Questi due tipi di viti venivano standardizzati

dalla normativa italiana *UNI 7687:1977*, attualmente ritirata, che regolava le dimensioni di viti a testa cilindrica con calotta e impronta a croce con filettatura metrica a passo grosso; successivamente la norma europea *ISO 7045*, nella sua versione più recente del 2011, ha dato le linee guida per la realizzazione di viti a testa bombata con filettatura metrica e impronta a croce *PH* o *PZ*. Quelle sopra citate sono solo alcune delle norme che definiscono le caratteristiche di questo tipo di viti, le normative in questo campo sono infatti innumerevoli; alcuni esempi sono: *UNI EN ISO 1481:2012* per viti autofilettanti a testa bombata con intaglio, *UNI EN ISO 14583:2011* per viti a testa bombata con cava esalobata o la *UNI 9708:2010* per viti a testa bombata con bordino ed impronta a croce con filetto a due principi per materie plastiche e molte altre che distinguono le viti a testa bombata per tipo di filettatura e tipo di impronta.

VITI A TESTA CILINDRICA CON CALOTTA ED IMPRONTA A CROCE
filettatura metrica ISO a passo grosso - **Categoria A**
estratto **UNI 7687** - (≠ DIN 7985)
edizione 10/1977

Dimensioni in mm:

a, secondo UNI 5709, serie corta
da secondo UNI 3740/2



dimensioni in mm

Filettatura		d	M 3	M 4	M 5	M 6	M 8	M 10
P	passo grosso		0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5
D		min.	5,82	7,78	9,78	11,73	15,73	19,67
		max.	6	8	10	12	16	20
k		min.	2,28	2,95	3,65	4,45	5,85	7,32
		max.	2,52	3,25	3,95	4,75	6,15	7,68
r_1		min.	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
r_2		≈	6	8	10	12	16	20
v		≈	1,6	2	2,5	3	3,7	4,8
Impronta Pz 1) UNI 7596	Grandezza		1	2	2	3	4	4
	m		3,15	4,29	4,7	6,73	8,46	10
	Profondità	min.	1,81	1,88	2,28	3,02	3,71	5,23
		max.	2,06	2,34	2,74	3,48	4,17	5,69
Impronta Ph 2) UNI 6957	Grandezza		1	2	2	3	4	4
	m		3,1	4,6	5,3	6,8	9	10,2
	Profondità	min.	1,7	2,04	2,77	3,05	4,18	5,38
		max.	2	2,54	3,27	3,53	4,88	5,88

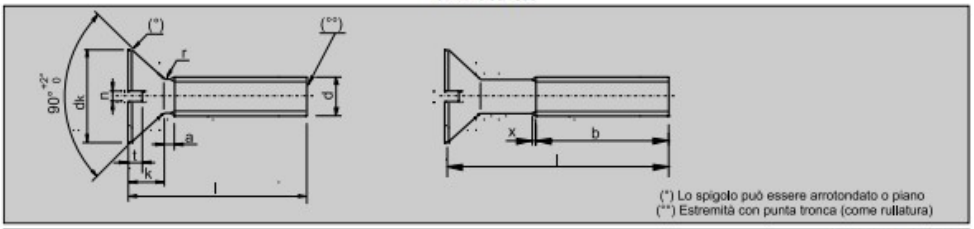
Figura 2.7: estratto della normativa italiana UNI 7687 risalente al 1977 e non più in vigore [4]

- *Testa svasata:* presenta una forma a cono rovesciato che dal gambo della vite si allarga con un angolo di inclinazione che può variare a seconda dei casi (solitamente 90°); questo elemento prende il nome di svasatura. Le viti a testa svasata hanno bisogno di un recesso svasato preforato per essere fissate in posizione. I principali tipi di teste svasate sono:

  Testa svasata piana (anche chiamata *TSP*): la svasatura si conclude con una parte piana su cui è presente la cava solitamente a taglio o esagonale, ma è comunque possibile la realizzazione con altri tipi di impronte. Questo tipo di testa viene impiegata quando c'è la necessità di avere la sommità della stessa a filo con la superficie su cui si va a montare sia per motivi estetici che per motivi di ingombro come, per esempio, per fissare pannelli in legno o piastre metalliche. Anche le dimensioni di questa categoria di viti vengono regolate da svariate normative, alcune tra queste sono: *UNI EN ISO 2009:2012* per le viti a testa svasata piana con intaglio, *UNI EN ISO 7050:2012* per le viti a testa svasata piana con impronta a croce e così via.

Figura 2.8: esempio di vite con testa svasata piana e impronta torx [1]

VITI A TESTA SVASATA PIANA CON INTAGLIO
filettatura metrica ISO a passo grosso - **Categoria A**
estratto **UNI EN ISO 2009** (*) ex UNI 6109 - DIN 963
edizione 09/1996



dimensioni in mm

Filettatura d			M 3	M 4	M 5	M 6	M 8	M 10
P		passo grosso	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5
a		max.	1	1,4	1,6	2	2,5	3
b		min.	25	38	38	38	38	38
dk1)	teorico	max.	6,3	9,4	10,4	12,6	17,3	20
	reale	nom=max.	5,5	8,4	9,3	11,3	15,8	18,3
		min.	5,2	8,04	8,94	10,87	15,37	17,78
k 1)		nom=max.	1,65	2,7	2,7	3,3	4,65	5
n		nom.	0,8	1,2	1,2	1,6	2	2,5
		max.	1	1,51	1,51	1,91	2,31	2,81
		min.	0,86	1,26	1,26	1,66	2,06	2,56
r		max.	0,8	1	1,3	1,5	2	2,5
t		max.	0,85	1,3	1,4	1,6	2,3	2,6
		min.	0,6	1	1,1	1,2	1,8	2
x		max.	1,25	1,75	2	2,5	3,2	3,8

Figura 2.9: estratto della normativa UNI EN ISO 2009 edizione del 1996 sostituita poi dalla più recente edizione del 2012 [4]

Testa svasata con calotta: rispetto alle viti *TSP* presentano una sorta di bombatura sulla sommità della testa che gli conferiscono una forma particolare detta a *goccia di sego*, questa particolarità consente l'applicazione in casi dove l'apparenza estetica è in primo piano, ma anche dove serve una maggior presa dell'utensile sulla vite garantita da un'impronta che può essere più profonda grazie al maggiore volume della testa. Comunemente questa tipologia di testa viene realizzata secondo *UNI EN ISO 14584:2011*, quindi con cava esalobata (*torx*) o, tra le altre, secondo *UNI EN ISO 1483:2012* con intaglio.

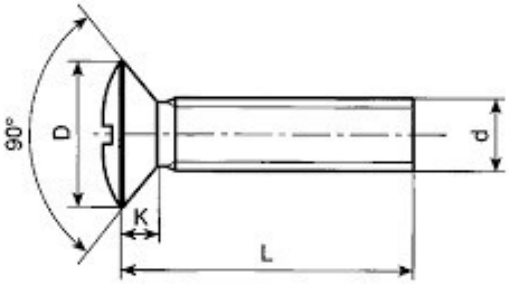


Figura 2.10: vista laterale di una vite con testa svasata con calotta e impronta a croce [4]

Viti coniche e flottanti: la forma della testa è particolare, una svasatura conica è sormontata dalla testa vera e propria che nella maggior parte dei casi assume la forma esagonale o con cava torx o esagonale. Le viti coniche non hanno parti mobili a differenza delle viti flottanti dove, invece, la svasatura sotto la testa è libera di muoversi leggermente, questa caratteristica ha la funzione di colmare piccole differenze di interasse che ci possono essere tra due componenti da assemblare. Viti coniche e flottanti vengono usate, per esempio, per il montaggio delle ruote di veicoli.

Figura 2.11: a sinistra un esempio di vite flottante e a destra una vite conica entrambe con testa esagonale [1]

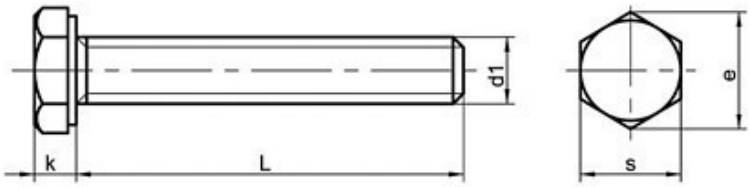
- *Testa tonda:* le viti a testa tonda con quadro sotto testa sono un tipo di viti utilizzate prevalentemente per lavori di falegnameria, in particolare, per fissare componenti metallici al legno. Tuttavia, questo tipo di viti sono fornite di una filettatura che le rende adatte anche per essere applicate sui metalli. Esse sono prodotte con una testa tonda, sprovvista di qualsiasi tipologia di innesto per cacciavite o chiave, e una sezione quadrata, immediatamente sotto di essa. Il profilo quadrato sotto testa è pensato per collimare con il corrispondente foro quadrato nei materiali da costruzione, e resistere alla rotazione quando l'assemblaggio è serrato attraverso l'utilizzo di un dado; per questo la combinazione di questi due elementi viene chiamata *bullone a testa tonda*. I bulloni con quadro sotto testa sono anche utilizzati per motivi estetici in quanto forniscono un aspetto gradevole in molte applicazioni a per via della loro testa rotonda. Un'applicazione specifica per i bulloni a testa tonda con quadro sotto testa è nel mondo ferroviario, in particolare nella realizzazione di rotabili ferroviari e tramviari secondo la normativa italiana *UNI 6425:1969* ancora in vigore; tra quelle più pertinenti, ma non più in vigore, la *ISO 8677:1986* per bulloni a testa larga e collo sotto testa quadro, *UNI 5731:1965* viti e bulloni a testa tonda e quadro sotto testa con dado quadro, *UNI 5732:1965* viti e bulloni a testa tonda e quadro sotto testa con dado esagonale.

Figura 2.12: bullone composto da una vite a testa tonda larga e quadro sotto testa e dado esagonale

- *Testa esagonale:* le viti a testa esagonale sono tra le più utilizzate sia nel campo delle costruzioni che nelle riparazioni; possono essere avvitate sia in fori filettati sia accoppiate con rondelle e dadi per formare un bullone.

Figura 2.13: vite metrica trilobata con testa esagonale e finta rondella o bordino [1]

Con il tempo le viti a testa esagonale hanno sostituito quelle a testa quadrata per la loro facilità di serraggio. Questa tipologia di testa ha una superfice superiore generalmente piatta, sei facce laterali piatte e una superfice di contatto anch'essa piatta. Le facce laterali sono progettate per facilitare il serraggio dei bulloni per mezzo di chiavi, consentendo, allo stesso tempo, la possibilità di applicare un maggiore livello di coppia ai bulloni in confronto con altre tipologie di teste; inoltre la bulloneria ad alta resistenza viene spesso realizzata con testa esagonale e una relativa marcatura sulla sua sommità che indica la specifica classe di resistenza. Le teste esagonali possono anche essere *flangiate*, quindi unite in blocco con una finta rondella chiamata anche bordino o flangia, con una superficie di contatto liscia o dentellata (*zigrinatura*) per assicurare un migliore bloccaggio della vite in posizione. Questa versione della testa esagonale ha il vantaggio di aumentare la superficie di contatto per distribuire in modo migliore il carico eliminando la necessità di una rondella. Inoltre, le viti esagonali con flangia sono molto utili quando è necessario compensare i fori disallineati di componenti che devono essere serrati. La vite con testa esagonale può essere quindi realizzata con filettatura metrica come secondo *UNI EN ISO 4017:2022* con gambo interamente filettato o parzialmente filettato, ma anche in versione autofilettante *UNI EN ISO 1479:2012* o per materie plastiche *UNI 11544:2014* e così via.



Kuusioruuvit DIN 933 (ISO 4017)

Mitat

d1	M 18	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 33	M 36
s	27,0	30,0	32,0(34,0)	36,0	41,0	46,0	50,0	55,0
e ~	30,1	33,5	35,7(37,7)	40,0	45,2	50,9	55,4	60,8
k	11,5	12,5	14,0	15,0	17,0	18,7	21,0	22,5
P	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,5	3,5	4,0

Likimääräinen paino kg/1000 kpl

Pituus L / mm	M 18	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 33	M 36
30		135						
35		146						
40	121	156		242				
45	131	166		257				
50	141	177	217	271				
55	151	187	230	286				
60	161	198	242	301	410	534		
65	171	208	255	316	429	557		
70	181	218	268	331	448	580	742	930
75	191	229	281	346	467	603	771	964
80	200	239	293	361	486	626	799	999
90	220	260	319	391	524	672	857	1067
100	240	294	344	421	562	718	914	1135
110		328		451	600	764		1210
120		362		481	638	809		1285
130		396		511		855		1360
140		430		541		901		1435
150		464		571		947		1510
160		498		601		993		1585

Figura 2.14: un estratto della normativa DIN 933, ormai ritirata, equivalente della più recente ISO 4017 per viti a testa esagonale e gambo interamente filettato [4]

- *Senza testa:* questa categoria non presenta una vera e propria testa, ma un incavo direttamente su una delle due estremità e prende il nome di *grano*. Questi tipi di viti sono un importante elemento di fissaggio nei sistemi meccanici in cui le superfici metalliche sfregano tra loro e non possono essere ostruite da teste di viti o bulloni, come nelle pulegge e negli ingranaggi. Sono spesso utilizzati anche dove sono necessarie viti da incasso per motivi estetici come nel fissaggio di giunti a parete, o per motivi di sicurezza in modo che non possano essere facilmente svitati; è questo il caso dei grani con *testa a perno*, dove al centro dell'impronta è presente un perno che rende difficoltoso lo svitamento tramite attrezzi classici e largamente disponibili al pubblico; essi si trovano spesso nelle cassette di sicurezza che contengono denaro, nei modelli di telefoni pubblici o distributori automatici, o in altre applicazioni in cui vi è un ulteriore incentivo allo smontaggio. L'uso di grani nel fissaggio di parti presenta diversi vantaggi rispetto all'uso di viti o bulloni tradizionali, nonché alcuni svantaggi. Uno dei principali vantaggi è che di solito l'intera lunghezza di un grano è racchiusa nel materiale che sta fissando, senza alcun bordo anteriore o posteriore esposto; ciò lo rende più resistente alla corrosione rispetto alle viti tradizionali e consente inoltre di serrare la vite con una coppia maggiore, poiché il materiale circostante in cui è avvitata ne rinforza la testa nel processo. Una delle principali debolezze dell'utilizzo dei grani è che possono essere quasi impossibili da rimuovere se si corrodono in posizione o le scanalature della testa si deformano così tanto da non fare più presa sull'utensile. Alcuni grani hanno la testa scanalata standard per un cacciavite piatto, ma sono rari perché una testa a forma esagonale o torx consente di applicare una coppia maggiore prima che la fessura metallica nella testa inizi ad ammorbidirsi e deformarsi, riducendo la capacità di rimuovere la vite in seguito. Oltre che per la forma dell'impronta, i grani si caratterizzano anche in base alla forma della punta; oltre la classica forma piana si possono trovare delle forme particolari come quella ad estremità cilindrica o conica utili quando serve esercitare pressione sulla parte opposta alla testa della vite.

Figura 2.15: classificazione sintetica delle viti senza testa [6]

Gewindestifte
DIN 913
ISO 4026

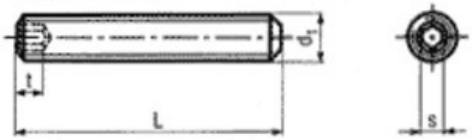


Figura 2.16: estratto della norma DIN 913 in lingua tedesca, equivalente della ISO 4026 per grani con cava esagonale e punta tronca [4]

d1		(*M1,4)	M1,6	M2	M2,5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16
s		0,7	0,7	0,9	1,3	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8
t	über Stufenl.		0,7	0,8	1,2	1,2	1,5	2	2	3	4	4,8	6,4
min.	unter Stufenl.	1,4	1,5	1,7	2	2	2,5	3	3,5	5	6	8	10

- *Testa con impronta combinata:* sebbene questa non sia una vera e propria categoria di viti, in quanto quasi ogni tipologia di testa può avere un'impronta combinata e quindi si parla

esclusivamente del tipo di presa presente su di essa, può avere senso trattarle separatamente. Si parla di impronta combinata (sigla "*combi"*) quando sulla testa della vite sono presenti due tipologie di prese per due utensili differenti, per esempio la combinazione croce e taglio è una delle più comuni, ma ne esistono anche altre come quella a testa esagonale con intaglio o a testa esagonale con cava esagonale. L'utilità delle impronte combinate sta nella possibilità di utilizzare due differenti tipi di utensile per avvitare o svitare la vite. Le applicazioni che possono avere sono diverse e dipendono dall'utilizzatore finale, per esempio si possono trovare teste combinate croce e taglio negli impianti elettrici per il fissaggio di morsetti, interruttori o scatole di fusibili. In generale le teste con impronta combinata sono utili in quei casi in cui avere la possibilità di utilizzare un diverso tipo di utensile per l'assemblaggio o lo smontaggio può essere un vantaggio per questioni di ingombri, coppia da applicare o, nei casi più estremi, nel caso in cui la vite sia soggetta a ripetuti smontaggi e quindi una delle due prese potrebbe usurarsi velocemente.

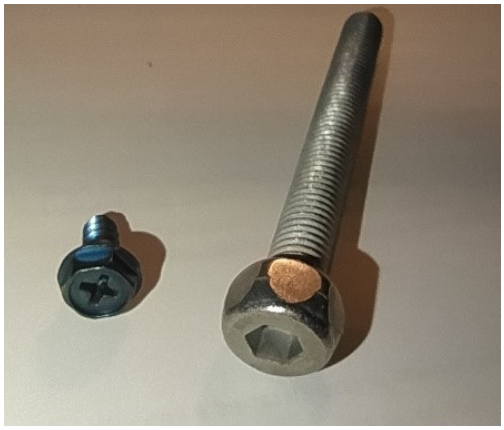


Figura 2.17: a sinistra una vite grezza con testa esagonale combinata a un'impronta a croce, a destra una vite metrica zincata con testa esagonale e esagono incassato [1]

- *Altre tipologie:* quelle elencate in precedenza sono le categorie più diffuse e utilizzate, ma non sono le uniche esistenti; di seguito vengono descritte brevemente anche altre tipologie meno diffuse.
  Testa a bottone: come si intuisce dalla denominazione hanno una testa che nella forma ricorda un bottone, possono essere confuse con le viti a testa bombata, ma si differiscono per delle differenze nell'inclinazione e nella raggiatura della superficie della testa e, anche dal punto di vista normativo, sono caratterizzate da standard differenti. Le viti con testa a bottone vengono solitamente realizzate con cava esagonale e filetto metrico secondo *UNI EN ISO 7380:2012*, ma come per le altre tipologie di viti possono essere realizzate su disegno specifico oltre che in base alle normative.

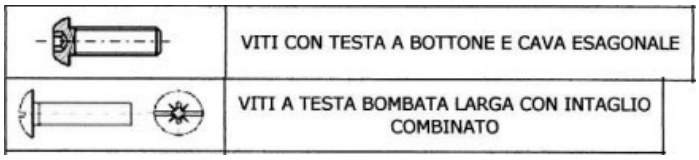


Figura 2.18: confronto tra testa a bottone e testa bombata larga [6]

Viti ad alette: non hanno la classica forma della testa, ma presentano due alette su un'estremità del filetto che hanno lo scopo di consentire l'avvitamento o lo svitamento manuale senza l'utilizzo di utensili; per via della loro particolare forma vengono anche chiamate *viti a farfalla*. Le appendici che presentano questi elementi servono a fare leva per un montaggio rapido e semplificare le attività lavorative. Essendo facilmente smontabili, si utilizzano quando possono essere avvitate in posizioni nascoste, ma vengono impiegate anche in ambienti industriali. Dato che non è necessario un utensile, queste viti vengono impiegate quando non è necessario applicare una grande coppia di serraggio, come per esempio il posizionamento di alcuni pannelli metallici. Venivano standardizzate secondo *UNI 5449:1971*.

Figura 2.19: esempio di una vite ad alette con filetto metrico

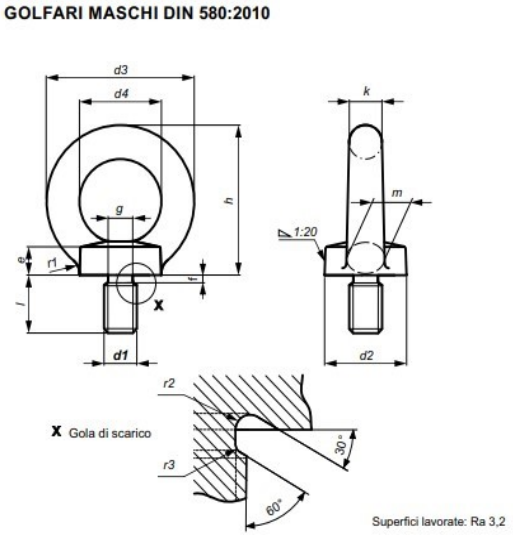
Viti a viola: sono un'alternativa alle viti a farfalla, non hanno infatti una comune testa da abbinare ad un utensile, ma una forma piatta verticale per facilitare il serraggio a mano.

Figura 2.20: esempio di viti a viola con filetto metrico

Golfari ad occhio circolare con gambo filettato: presentano un gambo filettato e una curvatura circolare su un'estremità (oppure possono presentare un foro praticato alla loro base); si tratta quindi di golfari removibili, al contrario di quelli fissi che non vengono uniti tramite collegamento filettato, ma tramite saldatura. Il campo di applicazione di questi elementi è il sollevamento di carichi che generalmente avviene passando nell'occhio del golfare un cavo

metallico o una braca tessile (elementi a loro volta agganciati al gancio del mezzo di sollevamento) oppure inserendo direttamente un gancio nel golfare. I golfari possono essere utilizzati anche in molteplici altre applicazioni, per esempio per l'ancoraggio di carichi pesanti su mezzi di trasporto, per il traino di veicoli o come punti di ancoraggio anticaduta per le persone. L'utilizzo dei golfari è regolato da normative comunitarie sulla sicurezza, oltre che normative dimensionali per quanto riguarda le loro caratteristiche come la *UNI EN ISO 3266:2016* o la *DIN 580:2018-04*.

Figura 2.21: esempio di golfari maschio e femmina



Quote in millimetri

d1	FILETTO	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M72x6	M80x6	M100x6
d2	MISURA	20	25	30	35	40	50	65	75	85	100	110	120	150	170	190
	minima	19,5	24,5	29,5	34,5	39,5	49,4	64,3	74,3	84,3	99,2	108,9	118,9	148,8	168,5	188,5
	massima	20,9	25,9	30,9	36,1	41,1	51,2	66,3	76,5	86,5	101,7	112,1	122,1	152,4	173	193
d3	MISURA	36	45	54	63	72	90	108	126	144	166	184	206	260	296	330
	minima	35,5	44,5	53,5	62,5	71,5	89,4	107,3	125,2	143,2	164,9	182,8	204,8	258,5	294,3	328,3
	massima	37,1	46,1	55,1	64,1	73,1	91,2	109,5	127,7	145,7	168,1	186,4	208,4	263	299,3	333,3
d4	MISURA	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	110	140	160	180
	minima	19,1	24,1	29,1	33,9	38,9	48,8	58,7	68,5	78,5	88,3	98,1	107,9	137,6	157,3	177
	massima	20,5	25,5	30,5	35,5	40,5	50,6	60,7	70,7	80,7	90,8	100,9	111,1	141,2	161,3	181,5
e	MISURA	6	8	10	12	14	18	22	26	30	35	38	42	50	55	60
	minima	5,5	7,5	9,5	11,5	13,5	17,5	21,4	25,3	29,3	34,2	37,1	41,1	48,9	53,8	58,8
	massima	6,9	8,9	10,9	12,9	14,9	19,1	23,2	27,3	31,3	36,7	39,9	43,9	52,1	57,4	62,4
f	MASSIMA	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	12	12
g h13	MISURA	6	7,7	9,4	13	16,4	19,6	25	30,3	35,6	41	48,3	55,7	63,7	71,7	91,7
	minima	5,82	7,48	9,18	12,73	16,13	19,27	24,67	29,91	35,21	40,61	47,91	55,24	63,24	71,24	91,16
	massima	6	7,7	9,4	13	16,4	19,6	25	30,3	35,6	41	48,3	55,7	63,7	71,7	91,7
h	MISURA	36	45	53	62	71	90	109	128	147	168	187	208	260	298	330
	minima	35,5	44,5	52,5	61,5	70,5	89,4	108,3	127,2	146,2	166,9	185,8	206,8	258,5	296,3	328,3
	massima	37,1	46,1	54,1	63,1	72,1	91,2	110,5	129,7	148,7	170,1	189,4	210,4	263	301,3	333,3
k	MISURA	8	10	12	14	16	20	24	28	32	38	42	48	60	68	75
	minima	7,5	9,5	11,5	13,5	15,5	19,5	23,4	27,3	31,3	37,2	41,1	47,1	58,9	66,8	73,8
	massima	8,9	10,9	12,9	14,9	16,9	21,1	25,2	29,3	33,3	39,7	43,9	49,9	62,1	70,4	77,4
l ±½ IT15	MISURA	13	17	20,5	27	30	36	45	54	63	68	78	90	100	112	130
	minima	12,65	16,65	20,08	26,58	29,58	35,5	44,5	53,5	62,4	67,4	77,4	89,3	99,3	111,3	129,2
	massima	13,35	17,35	20,92	27,42	30,42	36,5	45,5	54,5	63,6	68,6	78,6	90,7	100,7	112,7	130,8
m	MISURA	10	12	14	16	19	24	28	32	38	46	50	58	72	80	88
	minima	9,5	11,5	13,5	15,5	18,5	23,5	27,4	31,3	37,3	45,2	49,1	57,1	70,9	78,8	86,8
	massima	10,9	12,9	14,9	16,9	19,9	25,1	29,2	33,3	39,5	47,7	51,9	59,9	74,1	82,4	90,4
r1	~	4	4	6	6	8	12	15	18	20	22	25	25	35	35	40
r2	~	1	1	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4
r3	~	1	1	1,2	1,2	1,6	2	2	2	2,5	2,5	3	3	3	3	3

Figura 2.22: estratto UNI 580 relativo ai golfari maschi con gambo filettato metrico [4]

- *Teste speciali:* si tratta di teste con forme e dimensioni che non seguono nessuna normativa specifica, ma vengono realizzate su disegno tecnico richiesto dall'utilizzatore finale per motivi estetici, di ingombro o che dipendono dall'utilizzo che ne verrà fatto. Tra le viti a testa speciale troviamo viti con colletti particolari, ossia spessori di diametro variabile sotto la superficie inferiore della testa. Questi elementi servono solitamente per assicurare una maggiore resistenza a taglio in un determinato punto del gambo avendo diametro maggiorato, oppure

possono servire a riempire fori di maggiore spessore che precedono il foro filettato. Esistono poi teste che presentano rilievi o scavature particolari per riprendere la forma della superficie in cui si andranno a montare, oppure marcature non standardizzate che possono raffigurare simboli o anche loghi delle case produttrici che useranno tali viti per i loro prodotti.

Figura 2.23: esempio di una vite con testa speciale realizzata su disegno specifico [1]

2.2 FILETTO

[1] [8] [13] [15] Il filetto è quella parte della vite che assicura la solidità del collegamento grazie alle creste di filettatura che fanno presa sulla madrevite. Come detto in precedenza la madrevite può essere composta da un dado o da un foro filettato ricavato sul materiale, ma è anche possibile che la vite si vada ad avvitare direttamente su una superficie senza disporre di un foro realizzato in precedenza, si parla quindi di viti autofilettanti. Le filettature sono normalizzate da una serie di sistemi che

permettono di identificare i diversi tipi di viti grazie ad alcune caratteristiche. Per definire un sistema è necessario prendere in considerazione la forma del profilo, il diametro nominale e il passo filettatura. In genere il profilo triangolare è quello comunemente usato nelle filettature di collegamento. Nelle filettature triangolari il profilo ideale della filettatura è individuato da un triangolo generatore di altezza H e il passo della filettatura è proporzionale a tale altezza. Da profili triangolari nasce la filettatura metrica ISO; la filettatura Whitworth e la filettatura gas. Mentre la filettatura trapezia, a dente di sega e quadra sono caratterizzate da profili non triangolari. Nella scelta del tipo di filetto assume un'importanza fondamentale il materiale su cui si andrà a montare, mentre nel caso di bulloni si utilizza la filettatura metrica. Di seguito vengono elencate le principali tipologie di filettatura suddivise in macro categorie e con alcuni estratti delle normative di riferimento.

2.2.1 FILETTO METRICO E PER METALLI

La *filettatura metrica ISO* rappresenta lo standard riconosciuto dall'Organizzazione Internazionale per la Normazione a partire dal 1947. Essa consiste in una filettatura a profilo triangolare equilatero con angolo di profilo a 60°; nella pratica il profilo della filettatura presenta un troncamento sulle creste e un raccordo sui fondi, allo stesso modo della madrevite. Secondo la più recente *ISO 724* il sistema dimensionale per le filettature si basa su diametro nominale, medio e di nocciolo.

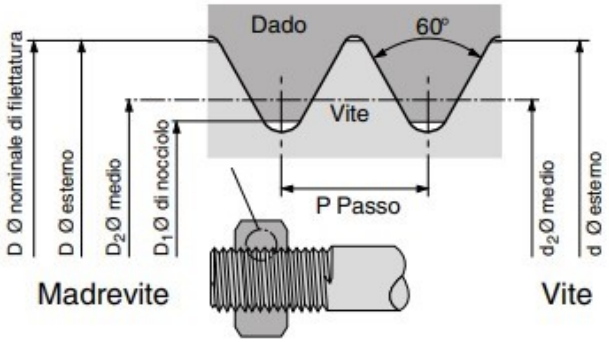


Figura 2.24: schema delle dimensioni di una filettatura metrica estratto dalla normativa ISO 724 [4]

Viti e madreviti hanno filettature con tolleranze in posizioni differenti rispetto alla dimensione nominale (al di sotto del valore nominale per le viti, al di sopra per i dadi). Questo permette di ottenere il gioco necessario all'accoppiamento, ed una zona definita che permetta l'applicazione di rivestimenti con un certo spessore. Dopo il rivestimento le dimensioni della vite non devono essere superiori a quelle nominali e quelle del dado non devono essere inferiori alle stesse.

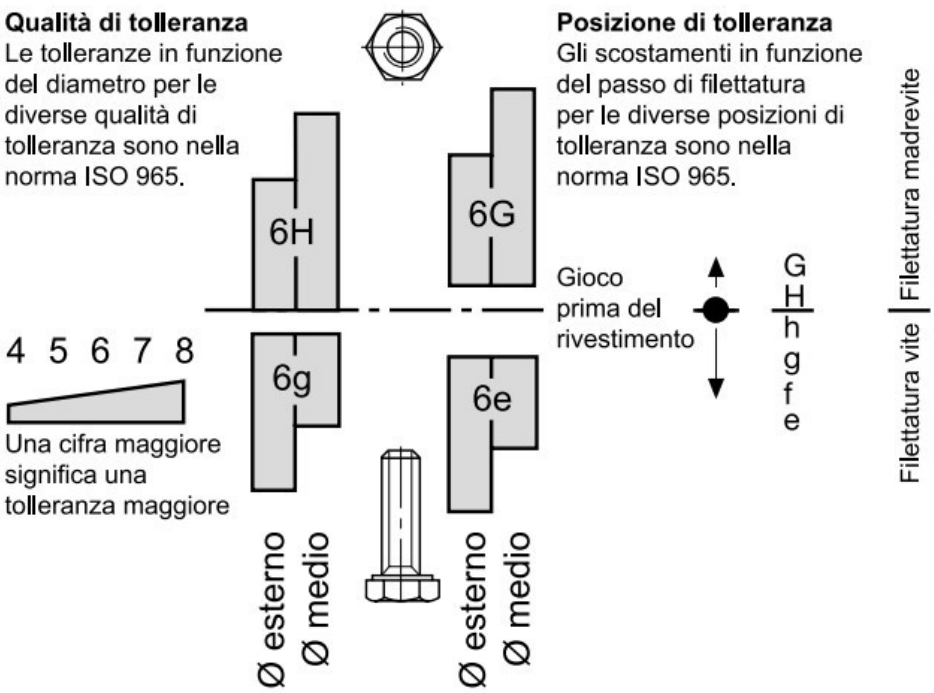


Figura 2.25: schema dei campi di tolleranza che definiscono il gioco tra viti e madreviti [4]

La norma *ISO 965* raccomanda campi di tolleranze per viti e dadi che apportino il gioco desiderato. Per misure uguali o superiori a M1,4 i campi di tolleranze comuni sono raffigurati nella tabella sottostante e nell'immagine sopra.

Dado	Vite	Finitura superficiale
6H	6g	grezzo, fosfatato oppure per rivestimenti galvanici con spessore normale
6G	6e	grezzo (con grande gioco) oppure per rivestimenti galvanici a grande spessore

Figura 2.26: tabella riassuntiva tolleranze per gioco tra dadi e viti [4]

Un'importante distinzione all'interno della categoria delle viti metriche va fatta in base al passo della filettatura, esistono infatti viti a *passo fine* e a *passo grosso*.

Viti a passo fine: possiedono una filettatura con un passo ridotto rispetto alle viti con filettatura "normale", che è solitamente detta a passo grosso. Si utilizzano modelli di vite passo fine per particolari utilizzi, in quanto si possono serrare con meno forza, ottenendo la medesima capacità di resistere allo svitamento rispetto alle viti tradizionali. Si sfrutta questo tipo di vite anche quando è necessario poter regolare l'avvitamento in maniera molto precisa e netta e in utilizzi particolari dove è richiesta una elevata capacità anti svitamento o la capacità di tenuta ai fluidi. Le viti a passo fine hanno una denominazione particolare, ad esempio "*M8x1*" dove M sta ad indicare la filettatura di tipo metrico, seguita dal diametro nominale, successivamente la lettera x seguita dal passo.

Serie diametri e passi per filettatura a passo fine

secondo ISO 262

Colonna 1

Diam. nominale	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36
Passo P [mm]	1	1,25	1,25	1,5	1,5	2	2	3
	–	1[1)]	1,5[1)]	–	2[1)]	–	–	–

Colonna 2

Diam. nominale	M14	M18	M22	M27	M33	M39
Passo P [mm]	1,5	1,5	1,5	2	2	3
	–	2[1)]	2[1)]	–	–	–

[1)] Non è contenuto nelle norme ISO 262:1973

Figura 2.27: tabella riassuntiva della norma ISO 262 per filettatura metrica a passo fine [4]

Viti a passo grosso: l'aggettivo "grosso" sta ad indicare che il passo della filettatura è il maggiore per quel diametro. Si usa questo tipo di filettatura nelle applicazioni più comuni, inoltre le viti metriche con filettatura a passo grosso sono adatte a quegli impieghi in cui ha la priorità la resistenza del collegamento grazie al maggiore spazio tra un filetto e l'altro.

Serie diametri e passi per filettature a passo grosso

secondo ISO 262

Colonna 1

Diam. nominale	M1,2	M1,6	M2	M2,5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42[1)]	M48[1)]
Passo P [mm]	0,25	0,35	0,4	0,45	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5

Colonna 2

Diam. nominale	M1,4	M1,8	M3,5	M7	M14	M18	M22	M27	M33	M39	M45[1)]
Passo P [mm]	0,3	0,35	0,6	1	2	2,5	2,5	3	3,5	4	4,5

[1)] Non è contenuto nelle norme ISO 262:1973

Figura 2.28: tabella riassuntiva della norma ISO 262 per filettatura metrica a passo grosso [4]

Viti trilobate autoformanti: sono viti a sezione triangolare (trilobata) con filettatura metrica per avvitamenti diretti in fori pressofusi, le viti trilobate sono la soluzione più economica per assemblaggi in serie; in confronto con viti metriche si può risparmiare un 30% nei costi.

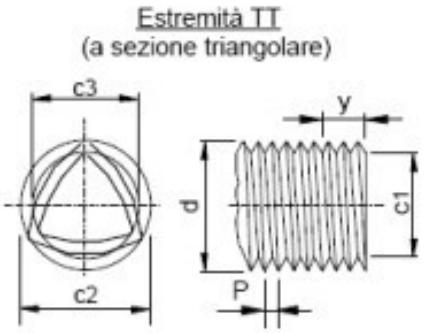
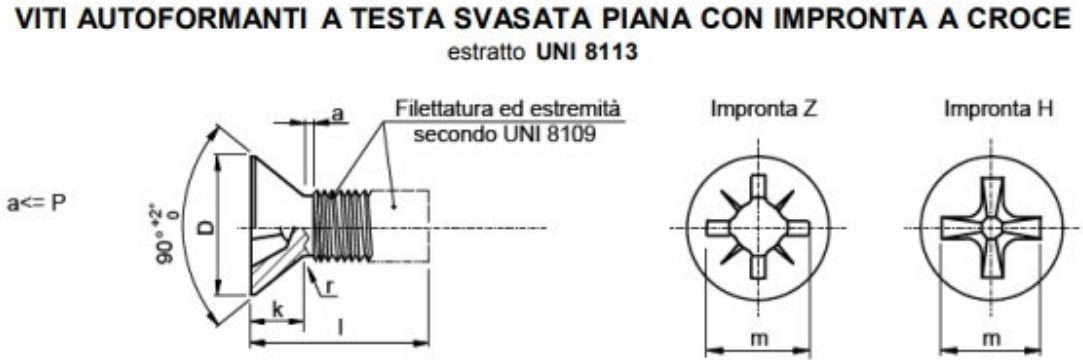
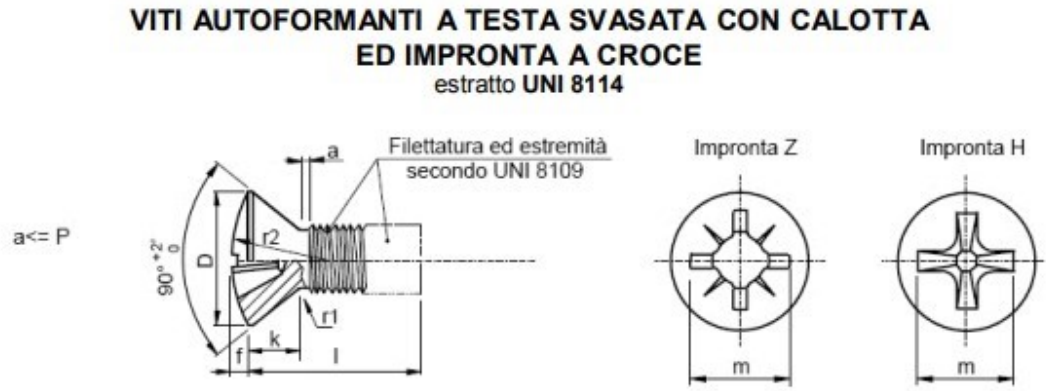


Figura 2.29: schema tecnico del filetto trilobato estratto della norma UNI 8109 [4]

La forma triangolare del filetto, deformando gradualmente il materiale, conferisce senza possibilità di gioco, una tenuta superiore ad una normale filettatura per asportazione di truciolo, mantenendo integre le fibre dei metalli. Infatti la filettatura autoformante deve formare, all'avvitamento, una filettatura della madrevite che permetta l'eventuale successivo avvitamento di una vite con filettatura metrica ISO tolleranza 6g di pari diametro e passo. In tal caso, questa vite deve avere una lunghezza pari a quella della vite autoformante diminuita della lunghezza dell'estremità *y*. Le dimensioni dei fori di preparazione e della filettatura ed estremità delle viti autoformanti vengono definite rispettivamente dalla norma *UNI 8108* E *UNI 8109*; inoltre le norme dalla *UNI 8110* alla *UNI 8114* descrivono le caratteristiche di viti autoformanti con diversi tipi di testa. Questo tipo di fissaggio filettato, se la vite non viene sostituita, offre una buona resistenza allo strappo, perché è nullo il gioco tra vite e madrevite. Inoltre, l'attrito tra le parti cosi accoppiate aumenta la coppia resistente allo svitamento.





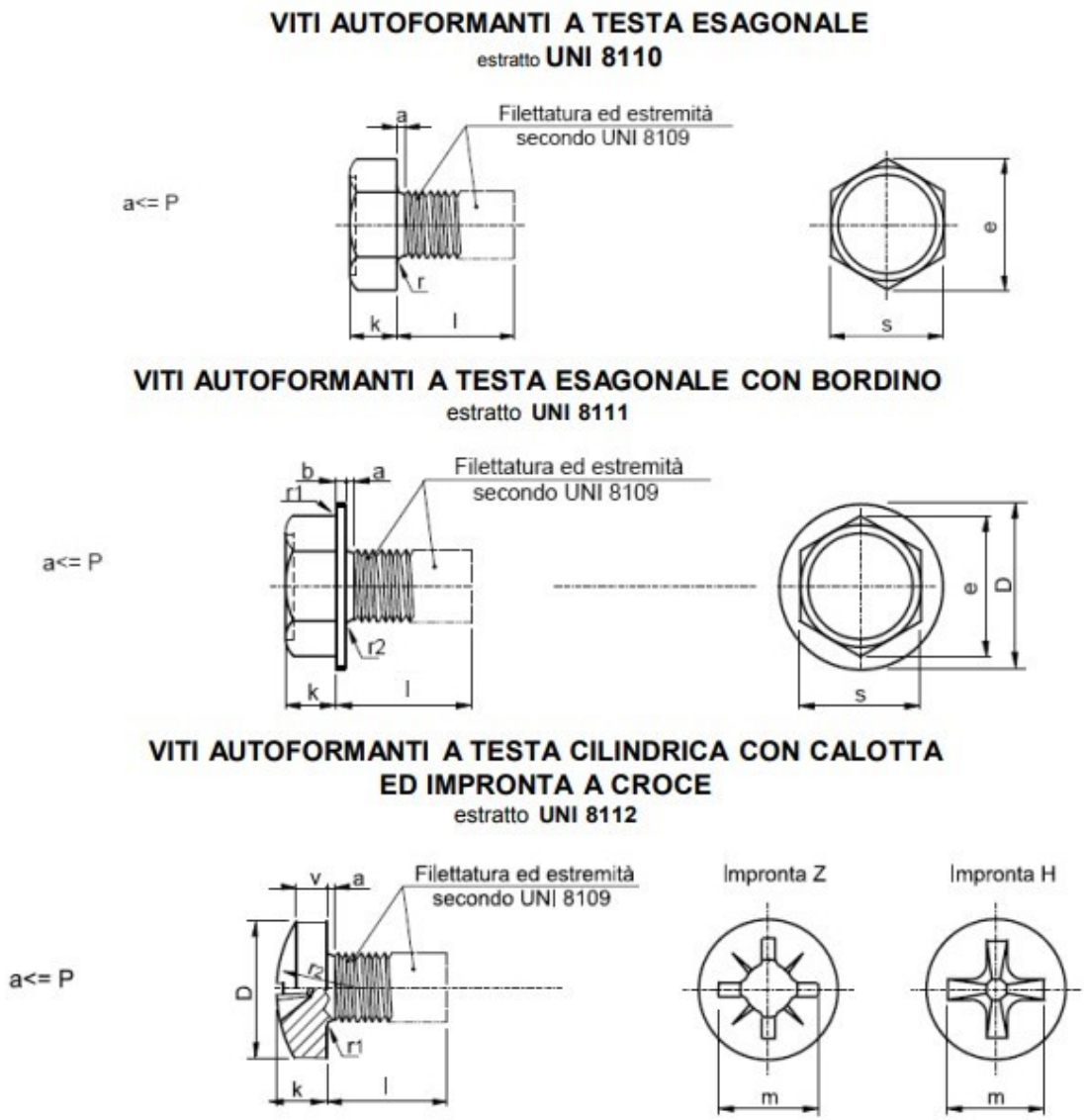


Figura 2.30: estratti delle UNI 8113 e UNI 8110 che raffigurano i disegni tecnici delle relative tipologie di viti con indicazioni delle quote stabilite dalle normative [4]

Viti automaschianti e autoperforanti: queste due categorie di viti sono simili, ma presentano delle differenze nella forma e nel campo di applicazione. La vite automaschiante ha lo scopo di realizzare una filettatura all'interno di una parte già forata senza l'utilizzo di particolari utensili se non quello usato per avvitare la vite; durante questa operazione infatti, il particolare filetto deforma il materiale su cui si avvita.

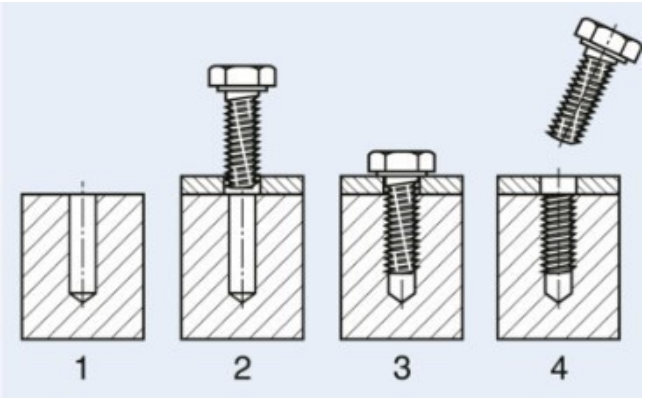


Figura 2.31: schema di applicazione di una vite automaschiante

La vite autoperforante, invece, fora, filetta e si avvita con una sola operazione grazie ad una specifica punta con cui termina il filetto. Questo permette di risparmiare il tempo di posa, diminuire la fatica dell'operatore e migliorare la qualità del fissaggio grazie alla perfetta coassialità foro-filetto. Le viti autoperforanti vengono utilizzate nei casi in cui la lavorazione avviene con alluminio o con altri metalli leggeri. Queste realizzano direttamente il preforo e formano la propria madrevite, per questo non serve l'uso di punte per forare. La particolare punta di foratura è data dalla tranciatura della vite; questa forma impedisce alle viti perforanti di slittare sulla superficie del particolare da fissare e ne permette una veloce foratura. Queste viti possono essere impiegate su cartongesso, nell'industria dei grandi elettrodomestici, serramenti, costruzioni in lamiera e altri campi. Questa categoria di viti è standardizzata secondo la *UNI EN ISO 15480:2019* per viti autoforanti a testa esagonale con bordino.

Figura 2.32: rappresentazione di una vite autoperforante, in questo caso presenta delle scanalature sul filetto come la vite automaschiante, ma differisce da quest'ultima per la presenza della particolare punta

Viti autofilettanti per metallo: sono viti che non necessitano di una madrevite pronta per essere avvitate, ma di un materiale preforato all'interno del quale si andranno ad avvitare. Questo tipo di filettatura non fa realmente parte della categoria metrica e da essa si distingue nella forma e dimensione della spirale del filetto; inoltre i fori di preparazione per le viti autofilettanti in acciaio sono standardizzati dalla normativa *UNI 6946:2009*; la filettatura e l'estremità, invece, sono caratterizzate dalla normativa *UNI EN ISO 1478:2000*. Rispetto alla filettatura metrica ISO le creste mantengono un angolo di 60°,

ma risultano più alte e maggiormente distanziate tra loro. Questo genere di viti può essere inserito in superfici di diverso materiale anche se sono pensate principalmente per le lamiere per cui non servono creste sottili, quindi con un angolo ridotto, e ampie come per esempio accade nelle viti per legno e plastica per fare miglior presa su materiali dalle caratteristiche differenti dai metalli.

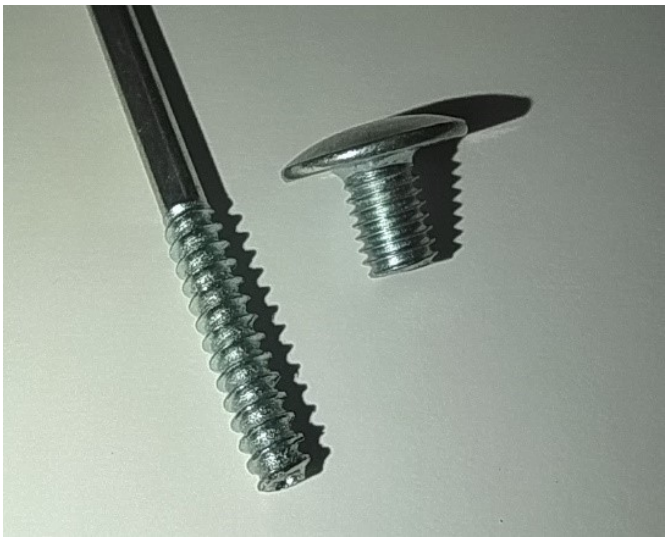


Figura 2.33: confronto fra una vite metrica a destra e una autofilettante a sinistra [1]

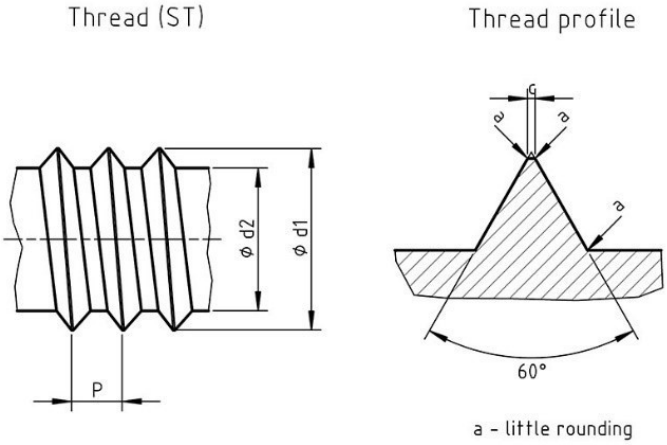


Figura 2.34: profili del gambo filettato e delle creste per viti autofilettanti per metalli secondo ISO 1478 [4]

2.2.2 VITI PER MATERIE PLASTICHE

I tipi di filettatura che vengono usati per applicazioni su materiali plastici, termoplastici e termoindurenti sono svariati e con caratteristiche diverse. In generale, però, le viti per materie plastiche hanno un passo ampio, maggiore delle viti metriche in modo da facilitare l'avvitamento; inoltre posso essene dotate di terminazione piatta o con punta per favorire la penetrazione.

Viti autofilettanti: le viti autofilettanti vengono usate per collegare tra loro elementi, in questo caso, plastici in modo rapido, semplice e stabile. La filettatura di queste viti viene realizzata seguendo una particolare geometria, per garantire una discreta resistenza allo strappo e, ancorarsi in modo perfetto ai supporti sui quali vengono fissate. La cresta dal profilo sottile (20°, 30° o 25°) ed il diametro di nocciolo ridotto, sono specifici per le materie plastiche e permettono avvitamenti e serraggi sicuri senza innescare cricche nella plastica. Le viti autofilettanti possono essere realizzate con qualsiasi tipo di testa e impronta in base alla scelta dell'utilizzatore finale e, data la vasta gamma settori in cui vengono utilizzate e le diverse tipologie di particolari da dover fissare, sono disponibili in differenti tipologie di materiale, tra i più diffusi ci sono l'acciaio e l'acciaio inox. Tuttavia, ulteriori trattamenti superficiali, come la zincatura, possono essere applicati alle viti in acciaio per migliorare le capacità anticorrosive delle viti. Inoltre, le viti autofilettanti sono spesso soggette a processi di indurimento che conferiscono loro una maggiore resistenza alla trazione unitamente ad una resistenza torsionale finale relativamente elevata. La terminazione di questo tipo di filetto può essere piana o con punta, in questo ultimo caso la penetrazione nel materiale plastico è facilitata; bisogna però distinguere le viti autofilettanti con punta da quelle autoperforanti in quanto le prime hanno comunque bisogno di un leggero preforo per essere avvitate e mantenere correttamente il fissaggio e resistere alle vibrazioni, mentre a confronto con le autofilettanti per metallo, a parità di diametro consentono prefori ridotti. Le viti autofilettanti consentono anche il montaggio e lo smontaggio continuo del materiale nel quale sono fissate e ciò le rende adatte per applicazioni in prodotti che richiedono una manutenzione regolare.

Figura 2.35: esempio di vite autofilettante con punta [1]

Viti autofilettanti a due principi (hi-lo): si parla di viti autofilettanti a due principi quando due filetti con profilo diverso si avvolgono sul nocciolo in maniera alternata, uno a profilo alto (high) e uno a profilo basso (low), si dice quindi filetto *HI-LO*. Questo abbina la praticità della vite per plastica alla velocità di montaggio delle viti a due principi. Anche le viti hi-lo possono essere realizzate con numerose tipologie di teste, ognuna delle quali è regolata da una specifica normativa come per esempio la *UNI 9704:2010* per le viti a testa esagonale a due filetti per materie plastiche o la *UNI 9707:2010* per le viti a due filetti a testa bombata.

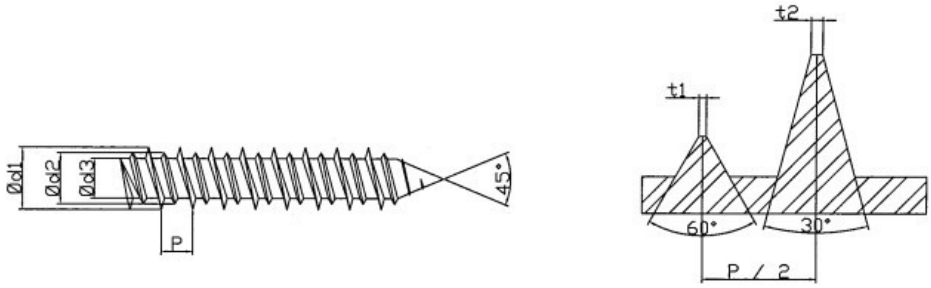


Figura 2.36: profilo del filetto e delle creste di viti a due principi [16]

Infine esiste un altro tipo di filetto autofilettante detto *autoformante asimmetrico*; la cresta di filettatura ha un profilo triangolare con un lato inclinato di 8° e l'altro di 17°. Questo tipo di inclinazione comporta, a parità di impiego, una riduzione della coppia di avvitamento rispetto ad altri tipi di filettatura con angolo superiore a 25°.

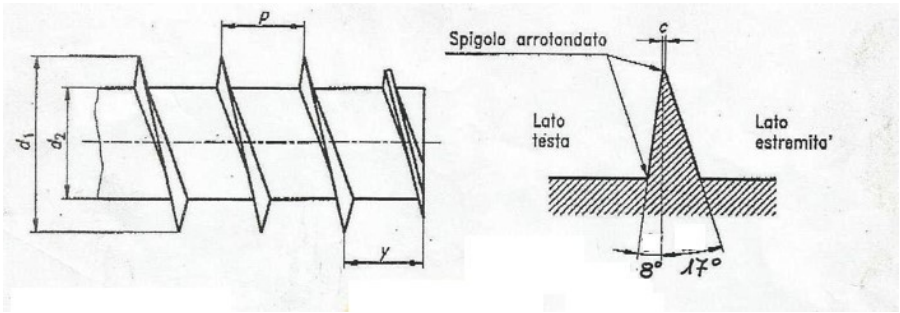


Figura 2.37: profilo di filettatura asimmetrica [1]

Viti autofilettanti tipo K: La vite autofilettante tipo K è un sistema di fissaggio per materiali termoplastici. Sono costituite da un nocciolo profilato e da un basso angolo di cresta del filetto. Per applicazioni che non richiedono montaggi e smontaggi multipli ed elevate coppie di serraggio (proprietà tipiche degli inserti filettati), la vite tipo K offre una soluzione economica per l'assemblaggio dei materiali plastici e presenta dei notevoli vantaggi rispetto ad altri tipi di fissaggio a vite. Il miglior flusso della plastica dato dalla forma del nocciolo riduce gli sforzi, accrescendo l'affidabilità a lungo termine; la superficie di contatto maggiorata tra filetto e plastica permette di ottenere un'elevata forza di strappo, ma allo stesso tempo le coppie di installazione sono basse. Tra gli altri vantaggi troviamo un'elevata resistenza al taglio nel materiale accoppiato, sforzi su materiale termoplastico ridotti al minimo e elevata resistenza alle vibrazioni. Per ottenere le migliori prestazioni relativamente a questo

tipo di viti è importante conoscere il valore della coppia necessaria ad ottenere la prima filettatura, quello della coppia necessaria a portare la testa della vite a contatto col

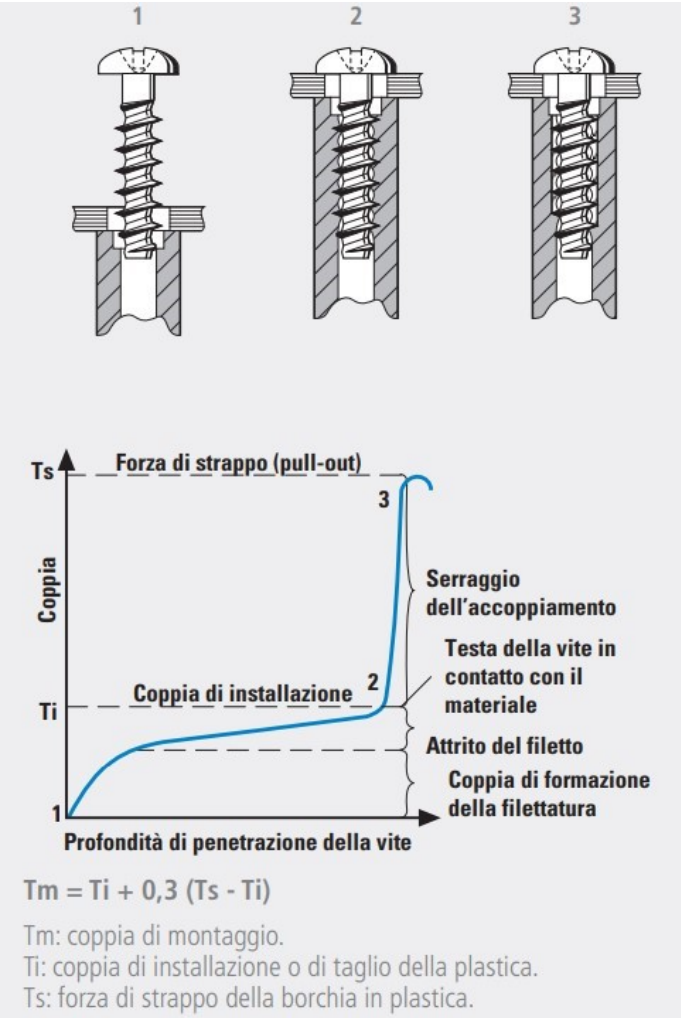


Figura 2.38: diagramma coppia-penetrazione [7]

componente da serrare e la forza di strappo che fa venir meno l'accoppiamento. La formula sperimentale a lato consente di determinare la coppia da applicare alle viti tramite avvitatore mantenendo un ampio margine di sicurezza.

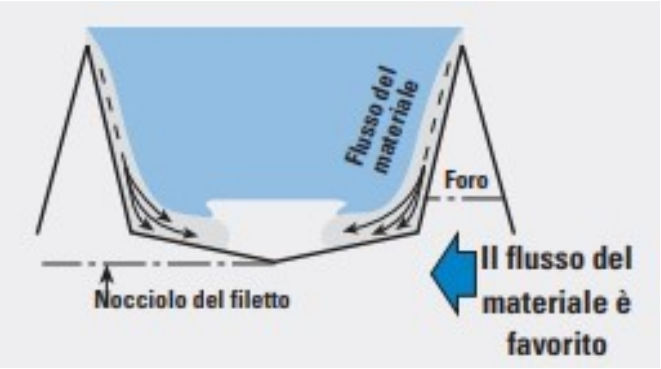


Figura 2.39: profilo delle creste di filettatura con flusso del materiale [7]

Viti full: questo tipo di vite per plastica è caratterizzata da una particolare forma del filetto e in particolare del nocciolo; le creste hanno un profilo asimmetrico con angoli di circa 27° e 5°, ma la caratteristica tipica di questi elementi è l'inclinazione di circa 5° sul fondo delle creste. Questo significa che tra un avvolgimento dell'elica che rappresenta la filettatura e il successivo, il nocciolo assume una forma a tronco di cono che si restringe in direzione della terminazione del gambo della vite. Si ricorre alla scelta di viti full quando c'è la necessità di avere un inserimento facilitato in fase di avvitamento e allo stesso tempo un'ulteriore resistenza all'estrazione dell'elemento filettato.

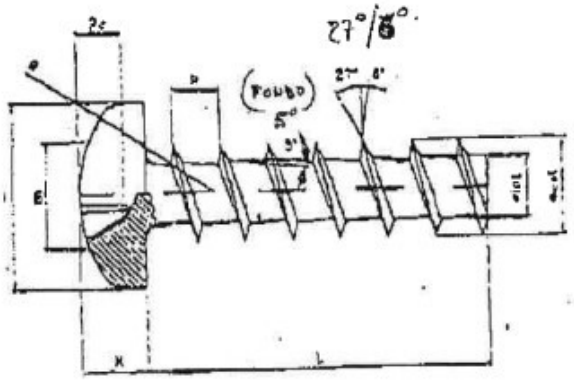


Figura 2.40: disegno tecnico di una vite full con indicazioni degli angoli caratteristici di filettatura [1]

2.2.3 *VITI PER LEGNO*

Viti autofilettanti e tirafondi per legno: Le viti *autofilettanti per legno* sono molto utili perché hanno una punta e una filettatura adeguata a diversi scopi. Infatti in alcuni casi queste viti autofilettanti consentono di evitare la realizzazione di un preforo in quanto la penetrazione del metallo nel legno è semplificata. Generalmente le autofilettanti si utilizzano per le superfici non troppo dure. La *vite tirafondo* viene utilizzata anche nel campo della carpenteria per la costruzione di vari manufatti. Sono delle viti di grosso diametro, che vengono chiamate proprio viti tirafondo o anche viti mordenti. Vengono utilizzate per degli specifici fissaggi sul legno e un tempo venivano utilizzate per il fissaggio delle rotaie alle traversine, realizzate proprio in legno. I tirafondo sono caratterizzati per la loro testa esagonale o quadrata che risulta molto adatta per essere avvitata con una chiave. Questo tipo di vite viene usata anche per fissare oggetti diversi su basi di legname come per esempio morse sui banchi di lavoro.

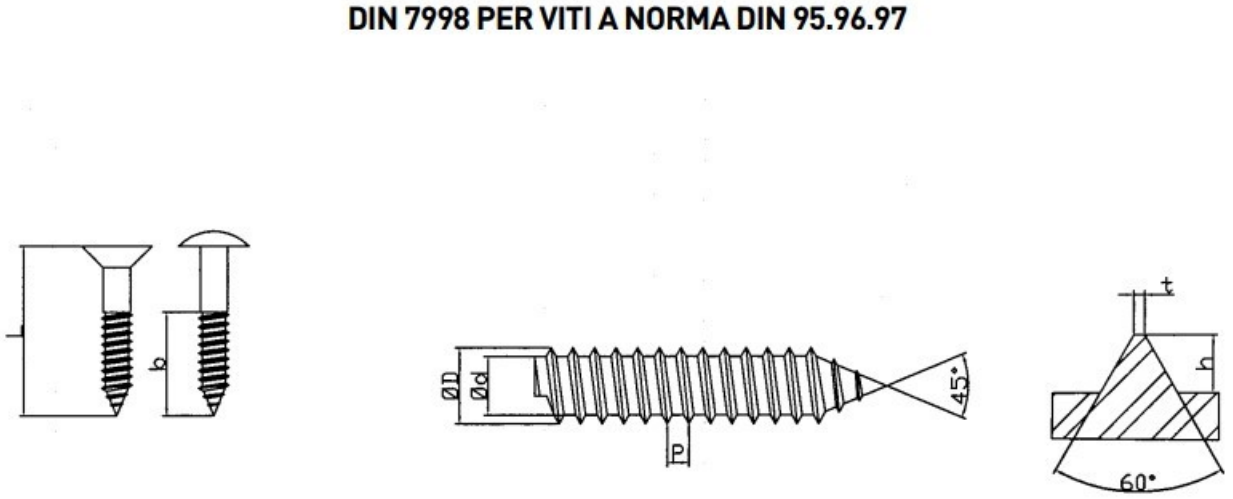


Figura 2.41: profilo di un filetto per legno secondo DIN7998 che specifica le caratteristiche delle creste e della terminazione della vite [4]

Viti per agglomerati di legno (truciolari): Nel caso di superfici molto morbide, come per esempio quelle realizzate in truciolato, essendo questo materiale piuttosto delicato, si devono scegliere delle specifiche viti per truciolare, per avere la possibilità di entrare nel pannello senza creare danni. Questo tipo di viti è adatto anche a tipi di legno molto teneri e anche alla vetroresina. La versatilità per questo tipo di materiali è data dalla ridotta resistenza durante l'avvitatura, per cui di conseguenza il montaggio risulta veloce, e dalla resistenza elevata anche durante l'estrazione. Le viti truciolare vengono generalmente realizzate con testa svasata, come anche le altre viti per legno, perché offrono una migliore resa estetica oltre ad inserirsi a filo con la superficie da fissare. In caso di legni molto sottili è usuale impiegare viti truciolari con una forma della testa differente per non creare crepe nelle superfici più delicate. Per quanto riguarda l'impronta della vite, spesso la cava PZ e torx vengono preferite alla PH per cacciavite poiché più adatte ad avvitatori automatici, ma utilizzabili anche manualmente. La filettatura di una vite truciolare è caratterizzata da un ampio passo e da creste con angolo di 40°, inoltre la punta della vite può avere un angolo di 35° o di 24° in base alla lunghezza del

gambo. Le viti truciolari vengono definite, per esempio, dalla norma *DIN 7505* che ne specifica le caratteristiche anche con differenti tipi di testa.

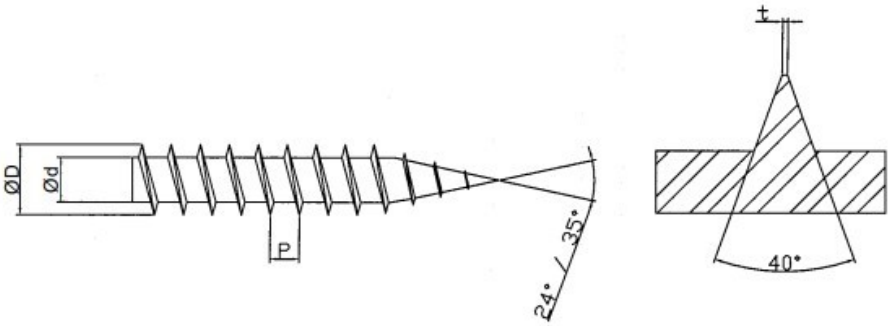


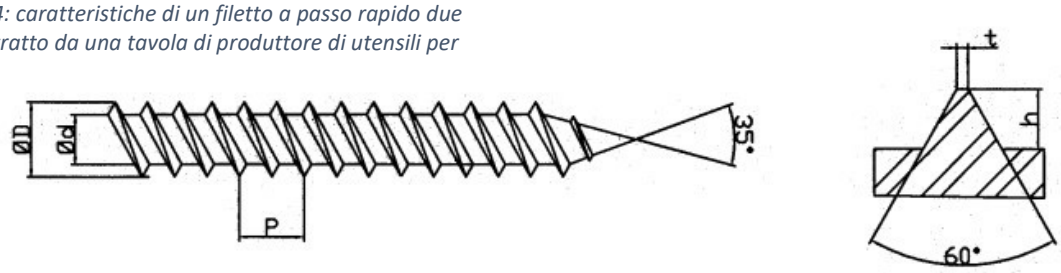
Figura 2.42: profilo di un filetto truciolare estratto da una tavola di un produttore di attrezzature per la realizzazione di filettature per rullatura [16]

Viti passo rapido a due principi: come visto in precedenza una vite a più principi ha una filettatura formata da due o più avvolgimenti di elica dal profilo diverso; in questo caso siamo in presenza di una tipologia di vite a due principi particolare poiché i due filetti consecutivi hanno stesso profilo. Questa caratteristica rende difficile identificare le viti a passo rapido, ma è comunque possibile farlo grazie ad alcune particolarità; nello specifico, se pur molto difficile ad occhio nudo, si può notare grazie a strumenti come un proiettore di profili, che l'angolo della cresta di filettatura è di circa 60° e, soprattutto, osservando la punta a 35° della vite si possono notare due avvolgimenti di elica distinti partire separatamente ed avvolgersi uno dopo l'altro in maniera alternata. Il vantaggio principale di una vite a due principi per legno è la velocità di avvitamento maggiore.

Figura 2.42 e 2.43: a sinistra una vite a passo rapido vista frontalmente, a destra vista dal basso cercando di evidenziare i due filetti distinti, ma con lo stesso profilo, che partono uno opposto all'altro [1]

rullatura

Figura 2.44: caratteristiche di un filetto a passo rapido due principi estratto da una tavola di produttore di utensili per



[16]

3. CENNI SULLA PRODUZIONE DI VITERIA STAMPATA E RULLATA

Di seguito vengono illustrati brevemente i passaggi principali per la realizzazione di viti stampate in diverse tipologie di acciaio e altri materiali quali acciaio inossidabile o ottone. Si accenna anche a ulteriori passaggi che completano il processo produttivo quali trattamenti termici e superficiali.

3.1 MATERIA PRIMA

La materia prima per la realizzazione di viteria stampata è un *trafilato metallico* arrotolato in aspi di filo che viene inserito e gradualmente srotolato all'interno della stampatrice. La trafilatura è un'operazione tecnologica eseguita nella lavorazione di varie leghe metalliche, in particolare dell'acciaio. Tale processo si basa sulla duttilità del metallo e consiste nel trafilare (tirare) e allungare il materiale fino a raggiungere la forma e sezione desiderata. La trafilatura si esegue anche quando è necessario ridurre le tolleranze oppure incrudire il metallo. Il prodotto da trafilare viene fatto passare mediante trazione attraverso uno o più fori calibrati, aventi sezioni progressivamente decrescenti. Solitamente si tratta di una lavorazione di formatura che avviene a freddo (trafila a freddo) con macchinari chiamati trafilatrici o trafilatrici multiple (nel caso di più passaggi di riduzione). Lo scopo della trafilatura è quello di ottenere tubi, fili, barre e profili di varie forme, con alta precisione dimensionale e buona finitura superficiale.

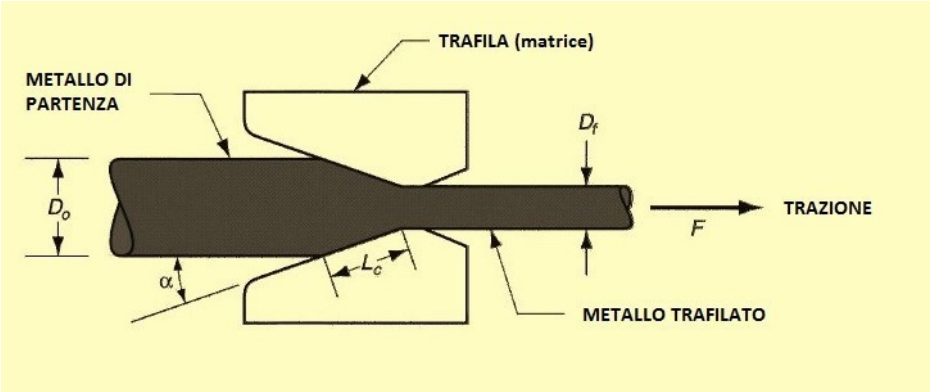


Figura 3.1: schema di trafilatura di un filo metallico [9]

Trafilatura di filo metallico: la versione base di una trafilatrice usata per la fabbricazione di fili metallici è costituita da un impianto su cui sono fissate due bobine. Sulla prima bobina è avvolto il

profilato da trafilare lavato e lubrificato. Tra la prima e la seconda (bobina di avvolgimento) è disposta la trafila attraverso la quale il filo, trascinato dalla rotazione della bobina di avvolgimento, è costretto a passare. La placchetta (trafila) che riduce la sezione del materiale viene chiamata filiera ed è costruita con materiale molto duro (ghisa dura, acciaio legato, carburo di tungsteno, diamante naturale o artificiale). Il materiale di costruzione della filiera varia in base al materiale da trafilare. Per la fabbricazione di fili sottili si utilizzano macchinari sui quali sono fissate tre o più bobine e due o più filiere, montate tra una bobina e l'altra.

Nello stampaggio di viti e minuteria metallica si usano materie prime di varia dimensione e composizione; in particolare per quanto riguarda la viteria stampata assume una grande importanza il diametro del trafilato, infatti in base alla forma della testa della vite da stampare e al diametro del filetto viene scelta la giusta misura della materia prima. Per quanto riguarda il materiale, invece, la scelta è ampia e basata principalmente sulla richiesta dell'utilizzatore finale; in particolare gli acciai inossidabili, ad esempio AISI 304 e 316, vengono usati quando è richiesta una particolare resistenza all'ossidazione e allo stesso tempo non è necessaria una elevata resistenza meccanica, inoltre non hanno bisogno di un trattamento superficiale. Per quanto riguarda gli acciai, la scelta ricade su acciai per stampaggio a freddo; le qualità di acciaio utilizzate per queste applicazioni sono: al boro, calmate all'alluminio a basso tenore di carbonio e legate. Gli acciai al boro offrono una deformabilità migliorata e un'eccellente temprabilità e prestazioni costanti durante lo stampaggio a freddo ed i successivi trattamenti termici. Offrendo una maggiore duttilità, deformabilità e resistenza, gli acciai calmati all'alluminio a basso tenore di carbonio, invece, sono adatti per l'intera gamma di applicazioni di stampaggio a freddo. Gli acciai basso-legati sono adatti al trattamento termico con temprabilità secondo le specifiche nazionali e internazionali e adatti ad ogni necessità. I fornitori di materia prima per la fabbricazione di viteria offrono spesso certificazioni che riportano l'analisi chimica degli elementi presenti nelle loro colate come viene riportato di seguito prendendo in esempio gli acciai al boro. Infine in alcuni casi è possibile realizzare viti in ottone, come per esempio succede nell'industria degli strumenti musicali o negli accessori per la casa.

		Analisi chimica tipo fornita (colata) e resistenza										
Standard	Qualità	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	N	Ti	B	UTS (MPa)
EN10263-3	18B2	0.17-0.18	<0.10	0.75-0.80	<0.015	<0.015	0.025-0.040	<0.05	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	440-500
	22MnB4	0.21-0.22	<0.10	0.93-0.98	<0.015	<0.015	0.025-0.040	<0.05	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	490-540
	22MnB4+Cr	0.22-0.23	<0.10	0.92-0.97	<0.015	<0.015	0.025-0.040	0.25-0.30	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	520-580
EN10263-4	17B2	0.17-0.18	<0.10	0.80-0.85	<0.015	<0.015	0.025-0.040	<0.05	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	440-500
	23B2	0.21-0.22	<0.10	0.83-0.88	<0.015	<0.015	0.025-0.040	0.08-0.13	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	500-550
	28B2	0.25-0.26	<0.10	0.85-0.90	<0.015	<0.015	0.025-0.040	0.13-0.18	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	540-600
	33B2	0.34-0.35	<0.10	0.60-0.65	<0.015	<0.015	0.025-0.040	<0.05	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	520-580
	38B2+Cr	0.37-0.38	<0.10	0.76-0.80	<0.015	<0.015	0.025-0.040	0.20-0.30	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	620-670
	23MnB3	0.22-0.23	<0.10	0.92-0.97	<0.015	<0.015	0.025-0.040	0.25-0.30	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	520-580
	20MnB4	0.21-0.22	<0.10	0.90-1.00	<0.015	<0.015	0.025-0.040	<0.05	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	490-540
	23MnB4	0.21-0.22	<0.10	0.90-1.00	<0.015	<0.015	0.025-0.040	<0.05	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	490-540
	20MnB4+Cr	0.21-0.22	<0.10	0.92-0.97	<0.015	<0.015	0.025-0.040	0.20-0.25	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	510-560
	23MnB4+Cr	0.22-0.23	<0.10	0.92-0.97	<0.015	<0.015	0.025-0.040	0.25-0.30	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	520-580
	30MnB4+Cr	0.29-0.31	<0.10	0.85-0.90	<0.015	<0.015	0.025-0.040	0.15-0.20	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	560-620
EN10269	20MnB4	0.21-0.22	<0.10	0.90-1.00	<0.015	<0.015	0.025-0.040	<0.05	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	490-540
	23MnB4	0.21-0.22	<0.10	0.90-1.00	<0.015	<0.015	0.025-0.040	<0.05	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	490-540
	23MnB3	0.22-0.23	<0.10	0.92-0.97	<0.015	<0.015	0.025-0.040	0.25-0.30	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	520-580
	35B2	0.34-0.35	<0.10	0.60-0.65	<0.015	<0.015	0.025-0.040	<0.05	<0.009	0.020-0.040	0.002-0.004	520-580

Figura 3.2: esempio di analisi chimica per alcuni tipi di acciaio al boro (B) per stampaggio a freddo [10]

Figura 3.3: un magazzino della materia prima contenete diversi aspi di filo in acciaio e acciaio inossidabile di diversi diametri [1]

Figura 3.4: filo di ottone in fase di srotolamento durante il processo di stampaggio [1]

3.2 STAMPAGGIO A FREDDO

[11] [12] [13] Lo stampaggio a freddo è un processo di deformazione che avviene attraverso delle presse che deformano il materiale portandolo alla forma desiderata con l'ausilio di uno stampo che ha la forma negativa del pezzo. La precisione dimensionale del componente ricavato è elevata e solitamente non presenta necessità di lavorazioni e finiture aggiuntive, consentendo di ottenere prodotti finiti a valle di una o più stazioni di stampaggio; per quanto riguarda le viti, però, c'è da specificare che un ulteriore lavorazione denominata *rullatura* è necessaria per ottenere la filettatura sul gambo della vite. Lo stampaggio a freddo è principalmente utilizzato per oggetti di piccole dimensioni (e non solo) e grandi lotti di produzione, come per esempio viti e minuteria metallica. Il materiale viene deformato oltre il punto di resistenza elastica, ma non oltre il suo limite di rottura, ad eccezione delle operazioni di foratura e tranciatura, per evitare fratture. Il pezzo subisce *incrudimento*, un fenomeno metallurgico per cui il materiale risulta rafforzato successivamente ad una deformazione plastica a freddo a causa di difetti del reticolo (chiamati dislocazioni) che facilitano lo scorrimento dei piani cristallini attraverso la sua struttura; grazie a lavorazioni a freddo, questi difetti tendono a moltiplicarsi ed accumularsi ostacolandosi e bloccandosi a vicenda e aumentando la resistenza meccanica.

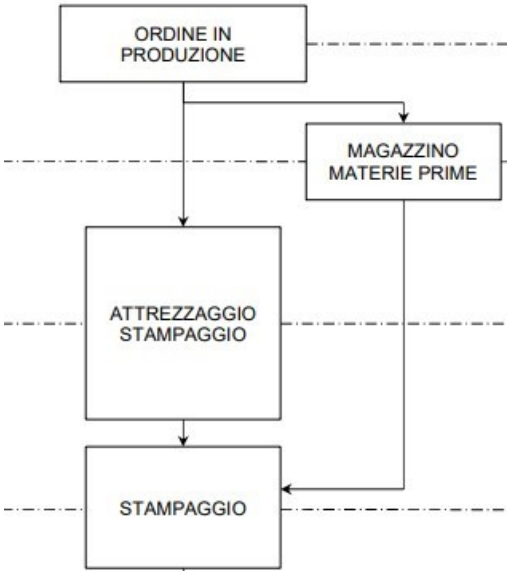


Figura 3.5: parte relativa allo stampaggio di un diagramma della produzione [1]

Operazioni preliminari: la fase di stampaggio vera e propria è preceduta da alcune operazioni molto importanti per l'avanzamento del processo. In primo luogo la *scelta della materia prima*, dopo aver valutato le caratteristiche del prodotto da realizzare, viene fatta in base alle caratteristiche meccaniche e dimensionali che si vogliono raggiungere, in alcuni casi si tiene conto anche dell'effetto chimico dell'ossidazione a cui può andare incontro una vite in base all'ambiente in cui verrà installata. Nel caso di viti che dovranno subire un trattamento di carbonitrurazione si usano solitamente acciai al boro per esempio 15B2 o 17B2; nel caso in cui si dovrà eseguire una bonifica per ottenere una specifica classe di resistenza si scelgono spesso acciai al carbonio e legati ad esempio 34Cr4. Successivamente è necessario fare un *calcolo della quantità di materiale* necessario alla realizzazione della singola vite; questo passaggio viene semplificato notevolmente dai programmi CAD che consentono di riprodurre la forma del componente finito e di calcolarne precisamente il volume. Il volume trovato viene quindi diviso per la sezione del trafilato per ottenere la lunghezza dello spezzone di filo necessario ad ottenere una vite. Infine si passa *all'attrezzaggio della macchina* stampatrice, in questa fase si preparano i componenti da installare sulla macchina per procedere alla realizzazione di una specifica vite; in particolare un elemento denominato coltello viene regolato in modo da tagliare la giusta lunghezza di filo trafilato calcolata in precedenza; successivamente bussola, matrice e punzoni sono strumenti che consentono di effettuare la deformazione plastica e vengono scelti in base alla lavorazione che deve essere eseguita, come mostrato di seguito.

Figura 3.6: esempio di una matrice, per la realizzazione di una testa bombata, ricavata da un grezzo cilindrico [1]

Figura 3.7: esempio di punzoni per la realizzazione di impronte a croce [1]

Stampaggio a freddo della testa della vite: lo stampaggio a freddo del filo metallico alla forma del prodotto desiderato è una funzione delle caratteristiche strutturali del metallo prescelto. Fatta questa necessaria premessa, lo stampaggio del filo si basa sull'utilizzo (singolarmente o in modo combinato) di tre semplici metodi.

Estrusione in avanti: si tratta di un metodo utilizzato per ridurre un diametro. In dipendenza della riduzione percentuale desiderata verrà utilizzata l'estrusione libera oppure scatolata per spingere il filo nella cavità di un diametro inferiore. Questa operazione può essere usata per esempio per creare un collare non filettato sotto la testa della vite.

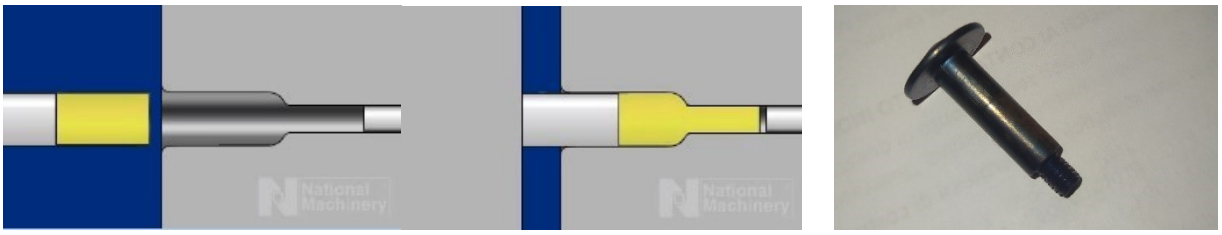


Figura 3.8: schema di estrusione in avanti dove lo spezzone rappresentato in giallo viene ridotto di diametro, a destra una vite con collare sotto testa realizzato per estrusione in avanti [1] [14]

Estrusione inversa: è un metodo per creare delle cavità, forzando un punzone idoneamente sagomato nel materiale ed ottenendo lo scorrimento del materiale intorno al punzone. Un punzone con la forma della cava voluta può consentire la formazione di una specifica impronta.

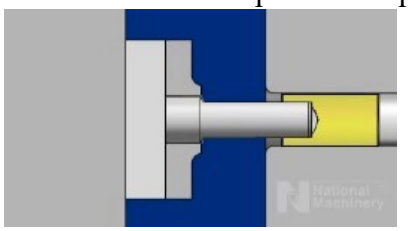


Figura 3.9: schema di utilizzo di un punzone che crea una cavità dello spezzone rappresentato in giallo [14]

Ricalcatura: trattasi di un metodo per formare la testa (in questo caso di una vite) con il quale il filo viene rigonfiato alla forma desiderata. In dipendenza della geometria scelta, la ricalcatura può avvenire in modo libero oppure scatolato. Molto spesso si utilizza il secondo metodo per realizzare le teste delle viti nella forma voluta, per esempio le teste esagonali o le teste bombate con uno specifico raggio di bombatura, in quest'ultimo caso ha una grande importanza la realizzazione della matrice con la forma corretta.

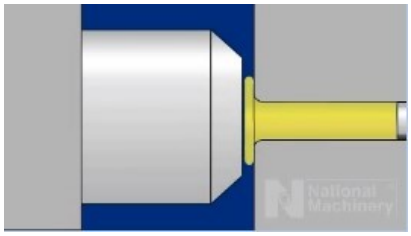


Figura 3.10: schema di ricalcatura libera per realizzare una vite a testa cilindrica bassa [14]

Figura 3.11 e 3.12: filo in ingresso in una stampatrice, a sinistra visto dall'alto e a destra frontalmente [1]

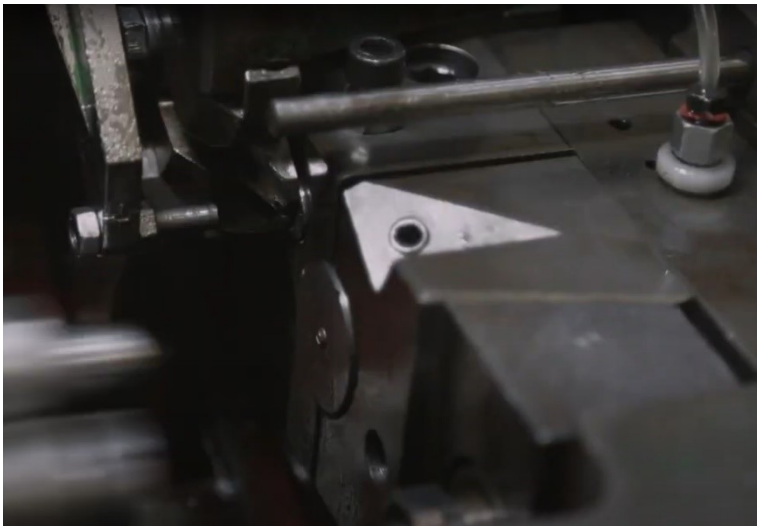


Figura 3.13: immagine interna di una stampatrice nel momento della formazione della testa della vite [1]

3.3 RULLATURA DEL FILETTO

La rullatura dei filetti è una deformazione a freddo, anche qui come in tutte le deformazioni permanenti, il materiale viene sollecitato oltre il limite di elasticità, quindi diventa plastico e rimane deformato. Dal punto di vista tecnico i filetti rullati mostrano una notevole precisione del profilo e in virtù della superficie lucidata a pressione è notevolmente migliorata la resistenza alla corrosione. La resistenza del materiale di partenza migliora nelle zone deformate per rullatura e si ha un aumento della resistenza a compressione nei confronti dei filetti ottenuti con la tradizionale asportazione del truciolo. Alla base del filetto si ottiene un sistema di precarico a pressione, migliorando la resistenza alle sollecitazioni alternate ed anche alla durata del prodotto nel tempo. Il processo di rullatura, quindi, risulta vantaggioso per vari motivi; la resistenza a trazione di un profilo rullato è maggiore grazie al fatto che questa lavorazione viene eseguita a freddo, anche la resistenza a torsione risulta migliore grazie alla continuità conferita alle fibre del materiale e infine la levigatezza delle creste di filettatura garantisce una migliore resistenza a fatica. L'andamento delle fibre metalliche, non presentando tagli o interruzioni, ma seguendo il profilo della filettatura stessa, è una garanzia di sicurezza contro la rottura.

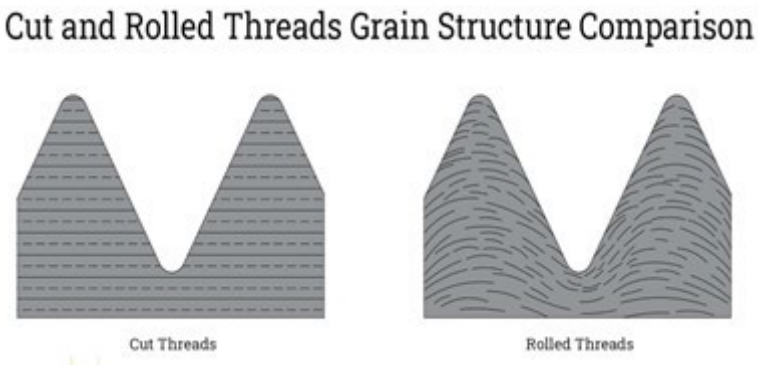


Figura 3.14: confronto delle fibre metalliche tra filetto tornito e rullato

Operazioni preliminari: dopo la fase di stampaggio è presente una fase di lavaggio con lo scopo di rimuovere residui di olio o grasso prima di iniziare la fase di filettatura; inoltre, come per lo stampaggio, anche qui è necessario effettuare *l'attrezzaggio della macchina* per prepararla alla produzione. In questa fase si sceglie l'utensile che può essere un pettine piano, dei rulli o un planetario di diverse forme e dimensioni, gli utensili vengono prodotti dai fornitori già pronti all'uso; in base al filetto da realizzare viene impiegato l'utensile più adatto.

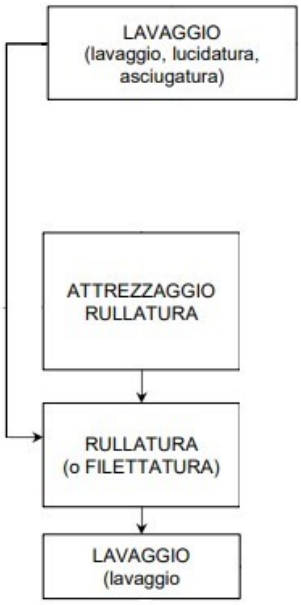


Figura 3.15: parte del diagramma di flusso di produzione relativo alla rullatura [1]

Figura 3.16: esempio di un pettine piano per filetti a due principi per materie plastiche [16]

Rullatura del filetto: tra le macchine rullatrici più utilizzate troviamo le rullatrici a pettini; questo tipo di rullatrice è costituita da due utensili (pettini) rettangolari di cui uno è stazionario mentre l'altra è alternato, l'utensile alternato si muove parallelamente a quello stazionario. La superficie dei pettini contiene una serie di creste che rappresentano il profilo delle filettature da realizzare. Queste creste sono inclinate con un angolo uguale all'angolo dell'elica del filetto da formare e la distanza tra le creste degli utensili è pari al diametro interno della filettatura. La vite viene inserita su un'estremità dell'utensile stazionario in modo manuale o automatico, dopo di che la lunghezza dell'utensile consente di far rotolare il pezzo da sei a otto volte in modo tale che i filetti vengano deformati in un singolo passaggio. Gli stampi fanno rotolare tangenzialmente il componente grezzo fino a portarlo all'estremità opposta dell'utensile mediante attrito. Le macchine a rulli cilindrici funzionano in modo analogo, ma utilizzano dei rulli come utensili e consentono di ottenere la filettatura tramite più passaggi; per quanto riguarda le rullatrici planetarie, queste ottengono la filettatura in un singolo passaggio grazie a una superficie fissa e allo scorrimento della vite su di essa.

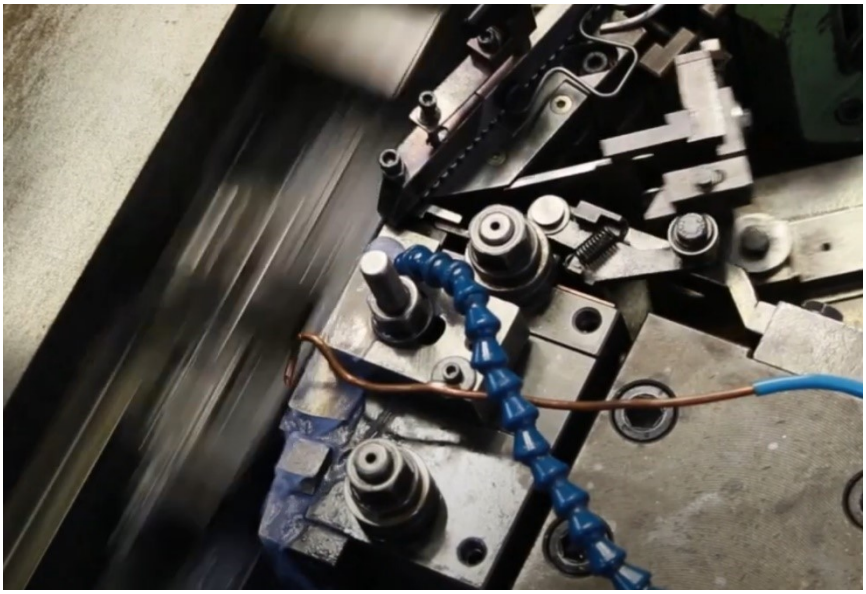


Figura 3.17: processo di rullatura in atto su una rullatrice a pettini piani, le viti su una 1guida vengono automaticamente trasportate ai pettini per la formazione del filetto [1]

3.4 TRATTAMENTI TERMICI

[18] [19] [20] [21] Per trattamento termico si intende il ciclo termico effettuato in predeterminate condizioni e temperature a cui devono seguire raffreddamenti più o meno lenti, con lo scopo di fare assumere ad un metallo o ad una lega metallica (solitamente acciaio) quelle strutture cristalline che gli conferiscono determinate caratteristiche. In termini generali, un trattamento termico, opportunamente selezionato e calibrato, consente di conferire a un prodotto in acciaio specifiche caratteristiche meccaniche e fisiche come durezza o carico di rottura, di lavorabilità, che in questo caso si traduce in deformabilità a freddo, di stabilità dimensionale e microstrutturali. Il trattamento termico è una fase importante nel ciclo produttivo della viteria stampata, ma in generale dei metalli. Ne esistono di diversi tipi ognuno dei quali conferisce diverse caratteristiche al materiale in base al suo campo di applicazione.

Trattamenti termici sulla materia prima: ancora prima di iniziare il processo produttivo, il materiale trafilato può essere sottoposto a trattamenti termici quali:

Distensione: a seguito di questo trattamento si ha un generale riassetto delle tensioni interne del materiale e un parziale recupero delle risorse plastiche conferendo al materiale una buona stabilità dimensionale evitando distorsioni dopo successive lavorazioni, oltre che consentire una maggiore attitudine a operazioni di deformazione plastica a freddo. Le caratteristiche meccaniche non subiscono variazioni particolarmente importanti e la microstruttura del materiale rimane fondamentalmente invariata.

Ricottura di lavorabilità: questo trattamento conferisce alla microstruttura esistente una morfologia idonea alle operazioni di lavorazione per asportazione di truciolo, mantenendo ancora una discreta capacità di deformazione plastica a freddo. Le tensioni residue sono annullate e di conseguenza si ottiene stabilità dimensionale.

Ricottura di ricristallizzazione: il principale effetto è quello della riduzione degli effetti della deformazione plastica a freddo (incrudimento e tensioni residue), la microstruttura subisce un generale riassetto morfologico che comporta un ottimale recupero delle caratteristiche di deformabilità plastica

a freddo ed è quindi indicata per quei prodotti che saranno sottoposti a operazioni quali piegatura o ricalcatura.

Ricottura magnetica: trattasi di un trattamento di ricottura volto al raggiungimento di specifici valori dei parametri magnetici del materiale.

Tutte le ricotture variano le caratteristiche meccaniche nel senso di una riduzione della durezza, dei carichi di rottura e di snervamento e con un aumento dell'allungamento percentuale a rottura e strizione percentuale a rottura, grandezze quantificabili con una prova di trazione.

Normalizzazione: è un trattamento termico ad alta temperatura che comporta una completa trasformazione della microstruttura di partenza, con annullamento completo degli effetti delle lavorazioni precedenti. Di conseguenza il prodotto dopo normalizzazione è caratterizzato da basse caratteristiche meccaniche e ottime caratteristiche di deformabilità plastica a freddo, massima stabilità dimensionale, omogeneità microstrutturale e isotropia meccanica, cioè le caratteristiche meccaniche sono indipendenti dall'orientamento del prodotto essendo la microstruttura omogenea ottimale per eventuali successivi trattamenti di bonifica particolarmente impegnativi.

Bonifica: è l'insieme di due trattamenti complementari; la tempra e il rinvenimento. Il primo, per effetto di un drastico raffreddamento dopo il raggiungimento di specifiche temperature, induce nell'acciaio la formazione della cosiddetta martensite, costituente strutturale caratterizzato da: elevati carico di rottura, carico di snervamento e durezza, ma di bassa tenacità e capacità di deformazione a freddo, oltre che di tensioni residue piuttosto marcate. Nel rinvenimento, tanto maggiore sarà la temperatura a cui questo avverrà, tanto maggiore sarà il recupero delle risorse plastiche del materiale e la riduzione della durezza e dei carichi di rottura e snervamento raggiunti durante la tempra.

Figura 3.18: viti trattate tramite un forno a nastro trasportatore per trattamento termico in atmosfera controllata [1] [17]

Trattamenti termici sul prodotto finito: i principali trattamenti termici che vengono eseguiti su elementi di viteria e minuteria metallica sono i seguenti:

Cementazione: la cementazione è un trattamento termochimico di diffusione che prevede un arricchimento di carbonio sulla superficie di un componente meccanico realizzato in acciaio. Questo trattamento viene eseguito in atmosfera controllata ad una temperatura che varia generalmente da

870°C a 940°C. La cementazione è normalmente seguita da un trattamento di tempra in olio e successivo rinvenimento per ottenere la durezza superficiale richiesta. La lavorazione viene eseguita sugli acciai da cementazione allo scopo di migliorarne la resistenza all'usura e alla fatica. Lo spessore dello strato cementato è variabile e, nel caso delle viti, viene definito da una specifica normativa sulle caratteristiche meccaniche *ISO 2702*; questa grandezza è definita profondità di cementazione e indica la profondità dello strato a durezza maggiore, calcolata dalla superficie del pezzo (nel caso delle viti dalla superficie di una cresta di filettatura) tramite prove di durezza.

Carbonitrurazione: la carbonitrurazione è un trattamento termochimico di diffusione del carbonio in superficie atto a aumentare la durezza superficiale dell'acciaio. E' a tutti gli effetti una cementazione ma con uso di ammoniaca in una fase della carburazione. Permette una buona durezza superficiale anche ad acciai non legati e al carbonio; è sempre seguita da tempra in olio. Ha lo scopo di aumentare la resistenza all'usura su acciai con scarse proprietà meccaniche. Il controllo del potenziale di carbonio in tale fase è monitorato da una sonda a ossigeno.

Tempra: Uno dei trattamenti termici più conosciuti e comuni è il trattamento termico di tempra che viene eseguito su diversi tipi di leghe metalliche, soprattutto acciai. La tempra ha lo scopo di incrementare la durezza dell'acciaio, caratteristica alla quale sono associati altre importanti proprietà meccaniche, come l'aumento della resistenza a trazione e del limite di elasticità. La resilienza, invece, diminuisce ma assume un valore proporzionalmente elevato rispetto alle caratteristiche di partenza. Di trattamenti di tempra ne esistono diverse tipologie: quella di durezza o ordinaria, quella sottovuoto e la tempra a induzione sono tra le più richieste. In comune hanno il brusco raffreddamento che segue alla fase di riscaldo e mantenimento che avviene all'interno dei forni. Ciò che è importante sottolineare è che è la velocità del raffreddamento (che per altri trattamenti avviene di norma in maniera più graduale) a conferire all'acciaio l'elevata resistenza meccanica obiettivo del trattamento. Più in generale si può dire che la tempra inibisce i processi di diffusione del carbonio necessari alla stabilizzazione termodinamica e trasferisce e mantiene anche a temperatura ambiente uno stato termodinamico che caratterizza i metalli a temperature maggiori. Di conseguenza, l'acciaio dopo il trattamento di tempra sarà caratterizzato da una struttura che viene a formarsi e che conterrà un eccesso di atomi di carbonio, che resteranno inclusi nel reticolo non avendo avuto il tempo necessario per uscirne. Sono questi atomi di carbonio a causare l'aumento di durezza e di resistenza a trazione dell'acciaio, poiché limitano lo scorrimento dei cristalli. Il risultato di questo insieme di fasi è una struttura diversa rispetto a quella di partenza: si tratta della martensite, che è il costituente tipico degli acciai sottoposti a tempra.

Bonifica: il trattamento termico di bonifica è la somma di tempra e rinvenimento, quest'ultimo ha lo scopo di ridurre gli effetti negativi della tempra sul materiale. La bonifica viene eseguita per ottenere un metallo con una struttura a grano fine e con caratteristiche adatte al successivo impiego. Quando si temprano gli acciai si forma la martensite, una struttura ad elevata durezza e notevole carico di rottura; la sua resilienza è però piuttosto bassa e, in seguito a urti, può provocare crepe o fratture del materiale. Per questo motivo si sottopone l'acciaio al trattamento termico di rinvenimento e si trasforma parte della martensite in martensite rinvenuta. In assenza di elementi leganti, la martensite si forma solo con una percentuale di carbonio superiore allo 0,2%. Gli acciai destinati a questo trattamento prendono il nome di acciai da bonifica e il loro contenuto di carbonio va dal 0,4 al 0,6%. Al di sotto di questo limite non ha senso temprare gli acciai né effettuare la bonifica. Nel caso di elementi di viteria questi sono sottoposti a bonifica per ottenere viti ad alta resistenza; infatti le classi di resistenza che si possono ottenere con la bonifica sono diverse e regolate da specifiche norme come la *ISO 898-1*.

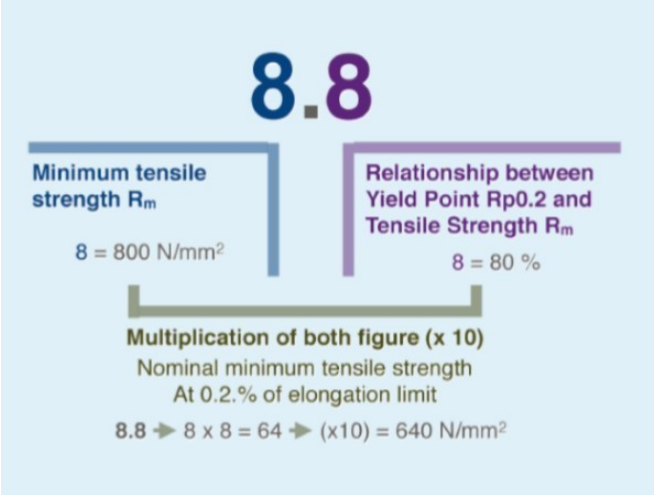


Figura 3.19: significato dei numeri rappresentativi delle classi di resistenza

La classe di resistenza rappresenta la resistenza alla rottura e allo snervamento dei bulloni, essa è rappresentata attraverso due numeri separati da un punto e le più comuni classi di resistenza che si incontrano nelle applicazioni industriali sono 4.6, 5.6, 6.8, 8.8, 10.9 e 12.9. Rm, cioè il primo valore, rappresenta il carico di rottura, mentre il secondo valore rappresenta la percentuale rispetto a Rm in cui si trova il carico di snervamento.

No.	Proprietà Fisiche o Meccaniche		Classi 4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8 d <= 16	8.8 d > 16 mm	9.8 d < =6 mm	10.9	12.9
1	Carico unitario nominale di rottura, Rm, MPa	nom.c	400		500		600	800		900	1000	1200
		min.	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220
2	Carico unitario di snervamento, ReL d, MPa	nom.c	240	—	300	—	—	—	—	—	—	—
		min.	240	—	300	—	—	—	—	—	—	—
3	Carico unitario di scostamento della proporzionalità,Rp02, MPa	nom.c	—	—	—	—	—	640	640	720	900	1080
		min.	—	—	—	—	—	640	660	720	940	1100
4	Carico unitario di scostamento della proporzionalità 0,0048 d per viti tutto filetto, Rpf,MPa	nom.c	—	320	—	400	480	—	—	—	—	—
		min.	—	340[e]	—	420[e]	480[e]	—	—	—	—	—
5	Carico unitario di prova, Sp , MPa	nom.	225	310	280	380	440	580	600	650	830	970
	Rapporto carico di prova e snervamento	Sp,nom /ReLmin o	0,9	0,9	0,9	0,9	0,92	0,91	0,91	0,9	0,88	0,88
6	Allungamento % dopo rottura (eseguito su provetta), A, %	min.	22	—	20	—	—	12	12	10	9	8
7	Strizione doporottura, Z, %	min.	—					52		48	48	44
8	Allungamento % dopo rottura per viti tutto filetto, A, %	min.	—	0,2	—	0,2	0,2	—	—	—	—	—
9	Tenacità della testa		Nessuna rottura									
10	Durezza Vickers, HV	min.	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385
	F>= 98 N	max.	220 g				250	320	335	360	380	435
11	Durezza Brinnell, HBW	min.	114	124	147	152	181	238	242	276	304	366
	F=30D2	max.	209 g				238	304	318	342	361	414
12	Durezza Rockwell HRB	min.	67	71	79	82	89	—				
		max.	95,0 g				99,5	—				
	Durezza Rockwell HRC	min.	—					22	23	28	32	39
		max.	—					32	34	37	39	44
13	Durezza Superficiale, HV 0,3	max.	—					h			h,i	h.j
14	Altezza nominale del filetto della zona non decarburata, E mm	min.	—					1/2 H1			2/3 H1	3 /4 H1
	Profondità massima di decarburazione totale, G, mm	max.	—					0,015				
15	Riduzione di Durezza dopo rinvenimento, HV	max.	—					20				
16	Rottura torsione, MB, N.m	min.	—					in accordo con ISO 898-7				
17	Resilienza, KV[k,l,1]	min.	_		27		—	27	27	27	27	m
18	Difetti superficiali		ISO 6157-1 n									ISO 6157-3

Figura 3.20: tabella riassuntiva delle proprietà meccaniche per ogni classe di resistenza secondo ISO 898-1 [4]

3.5 TRATTAMENTI SUPERFICIALI

[22] [23] Tutti gli elementi di viteria realizzati in acciaio sono soggetti nel tempo a corrosione, si autoproteggono solo le parti in acciaio inox, ottone, alluminio e pochi altri. Per porre rimedio a questo fenomeno, che riduce progressivamente la resistenza del materiale si utilizzano rivestimenti superficiali che proteggono per un certo tempo gli acciai dalla corrosione; questi sono dei veri e propri rivestimenti protettivi molto sottili, nell'ordine di grandezza del micron, che evitano che l'azione

chimica aggressiva dell'ambiente in cui verrà impiegata la vite possa intaccare la stessa. Questi trattamenti assumono anche funzioni estetiche dal momento che conferiscono al particolare una colorazione lucida e gradevole rispetto a quella che una vite grezza assume dopo il processo di trattamento termico.

Zincatura elettrolitica [23]: l'eccellente resistenza alla corrosione in svariati ambienti rendono lo zinco idoneo a fornire a una variegata serie di prodotti in ferro e in acciaio un adeguato rivestimento protettivo in molte condizioni di esposizione. Per tali ragioni, la zincatura elettrolitica è il più comune dei rivestimenti elettrolitici ed è frequentemente applicato al di sotto degli stati della verniciatura per migliorare le performances anticorrosive e l'aderenza della vernice; nel caso delle viti, spesso queste non vengono verniciate, ma rimangono di un colore argentato (o nero per la zincatura nera) tipico della zincatura. Il processo si ottiene attraverso l'immersione delle componenti metalliche che devono essere protette in un bagno con idonei reagenti e la presenza di ioni di zinco. Attraverso l'applicazione di corrente elettrica, i pezzi metallici da trattare si trasformano in anodi (+) che attraggono ioni di zinco (-) presenti nella soluzione, i quali a loro volta, si ammassano attorno al pezzo metallico ritornando neutri. Come risultato, un sottile strato di zinco, a temperatura ambiente, viene depositato sulla superficie metallica attraverso l'elettrolisi.

Zinco Nichel: il trattamento di Zinco-Nichel è un processo di deposizione elettrolitica della lega binaria Zinco-Nichel che si ottiene attraverso bagni galvanici alcalini che co-depositano nello stesso momento sia lo Zinco che il Nichel, questo grazie all'utilizzo di additivi specifici. Il contenuto nel bagno galvanico di Zinco-Nichel è compreso mediamente tra il 12-15%, valore che deve essere costantemente verificato durante il trattamento galvanico insieme alla gestione della concentrazione degli ioni zinco e nichel, la densità di corrente e la temperatura in modo che sia rispettato il giusto rapporto di rivestimento dei due metalli durante l'elettrolisi. Grazie all'aggiunta di sigillanti e lubrificanti la resistenza conferita alla superficie della vite può aumentare notevolmente; la sigillatura produce sulla superficie del materiale rivestito uno strato sottile e trasparente legandosi chimicamente con i sali di Zinco aumentano la resistenza alla corrosione e l'uniformità del colore dopo la lavorazione.

Geomet: Il trattamento Geomet, è un trattamento anticorrosivo, non elettrolitico, che utilizza una soluzione acquosa brevettata. Questo sottile strato di rivestimento protettivo (compreso tra i 5 e i 10 μm) contiene Zinco ed Alluminio passivati in forma lamellare e viene applicato sui componenti per immersione o a spruzzo. Prima di procedere con il rivestimento dei particolari, questi si sottopongono ad una sabbiatura in modo che vengano puliti da eventuali impurità, rendendo la superficie rugosa. Una volta effettuato questo passaggio la soluzione acquosa a base di zinco e alluminio verrà applicata tramite immersione o spruzzo. I particolari una volta trattati assumeranno il caratteristico colore argento opaco. Il trattamento Geomet, rappresenta un'alternativa al trattamento chiamato Dacromet 500, in quanto nella soluzione da applicare non vi sono metalli pesanti come il Cromo, presente per l'appunto in quest'ultimo. Tra i principali vantaggi, questo speciale rivestimento anti corrosivo, a differenza della zincatura a caldo, non causa infragilimento da idrogeno, un vantaggio di fondamentale importanza per il trattamento di bulloneria con classe di resistenza dalla 8.8 alla 12.9; inoltre è estremamente duttile con grandi capacità di adattamento a deformazioni elastiche, con una resistenza al calore fino a 280°C. Unico svantaggio, come per la zincatura, il trattamento Geomet va eseguito con attenzione su componenti con delle cavità come per esempio viti con esagono incassato, a causa del rischio di accumulo nella parte cava, compromettendo l'utilizzo del particolare.

Delta-protekt: Il rivestimento indicato viene ottenuto in seguito al passaggio, immersione, centrifugazione e cottura dei pezzi in bagni e forni speciali. I particolari da rivestire verranno prima preparati in impianti di pulizia per poi essere immerso nei bagni di Delta Protekt KL nei quali verrà

applicato lo Zinco-lamellare in lega di Zinco e Alluminio metallico ed in seguito messo a essiccare in forni per permettere al rivestimento di saldarsi al pezzo. Il prodotto contiene un lubrificante interno per correggere il coefficiente d'attrito a 0,10 - 0,16. Questo tipo di trattamento è esente da Cromo e conferisce una colorazione grigio chiaro, con uno spessore che può andare da 5 a 12 µm.

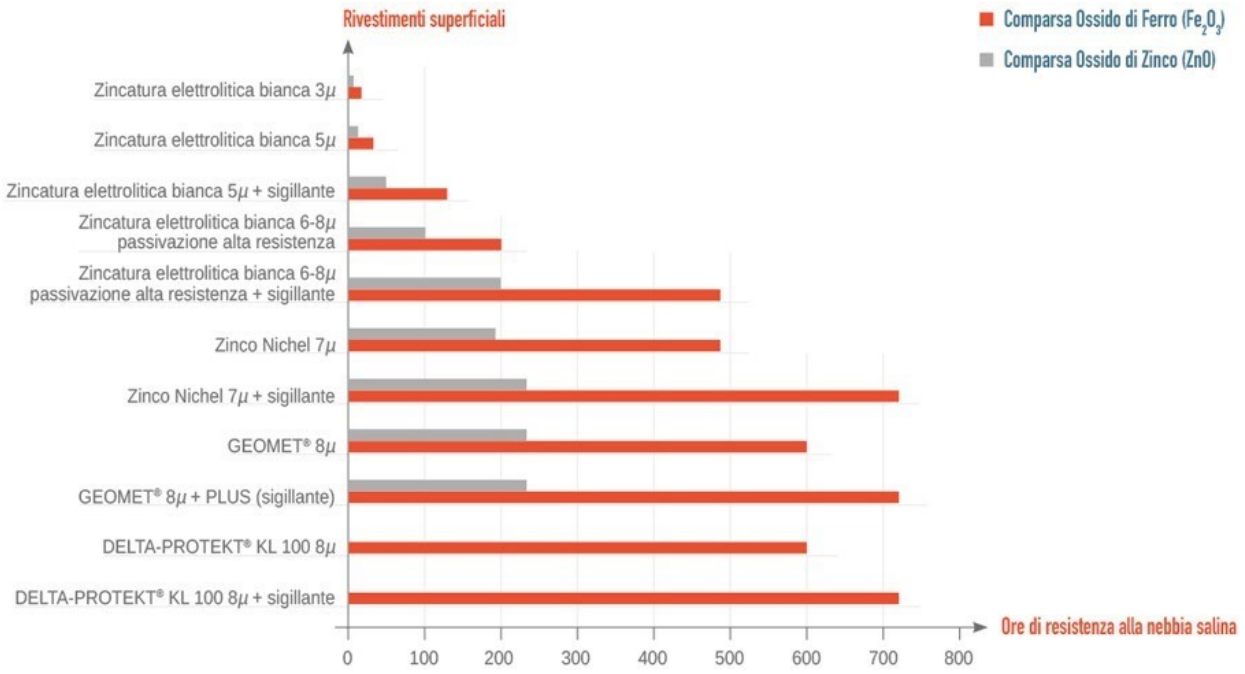


Figura 3.21: tabella riassuntiva dei principali trattamenti superficiali applicati ad elementi di viteria [3] [22]

4 CONCLUSIONI

Come visto fino ad ora, il processo di realizzazione di particolari di viteria stampata e con filetto rullato richiede alcuni passaggi principali che hanno una grande importanza al fine di assicurare la qualità del prodotto finito. In particolare, i passaggi centrali della produzione sono due deformazioni a freddo: stampaggio e rullatura; queste vengono di seguito confrontate con lavorazioni di tornitura per evidenziare vantaggi e svantaggi ed indicarne il campo di impiego più adatto. Le caratteristiche contraddistinguono il processo di stampaggio a freddo, in particolare per il campo della viteria, sono:

Alti livelli di produzione e replicabilità: le tecnologie di stampaggio a freddo sono molto più veloci se paragonate ai processi di tornitura, in particolare si riescono a produrre diverse migliaia di pezzi ogni ora, nell'ambito della viteria stampata. Inoltre questa caratteristica è accompagnata da una grande stabilità del processo che rende lo stampaggio a freddo particolarmente adatto alle grandi produzioni industriali, quindi a grandi lotti.

Riduzione dello scarto del materiale: il materiale non viene asportato, ma deformato. Questo fa si che ci sia un grande risparmio di materiale, che per grandi lotti produttivi si traduce anche in un risparmio economico non indifferente. Questo significa che, rispetto a lavorazioni per asportazione di materiale, serve una minore quantità di materia prima per realizzare un componente.

Competitività economica: le precedenti caratteristiche combinate insieme rendono lo stampaggio a freddo una lavorazione molto conveniente dal punto di vista economico e anche per quanto riguarda efficacia ed efficienza.

Proprietà meccaniche del prodotto: attraverso i grani di metallo ridistribuiti e non tagliati, si ottiene una migliore tenacità e durezza del prodotto finito. Inoltre la presenza di bave nel componente è ridotta, nello stampaggio a freddo delle teste delle viti, può essere addirittura assente; bisogna comunque sottolineare che in base alla complessità della parte da realizzare è possibile che si presentino difetti.

Precisione dimensionale: questa è tale da non comportare successive lavorazioni, se non i successivi passaggi dello stampaggio stesso. C'è da specificare però che una lavorazione come la tornitura garantisce tolleranze dimensionali più precise e in grado di soddisfare anche le richieste più esigenti.

Per quanto riguarda la rullatura, infine, abbiamo tutte le caratteristiche tipiche delle lavorazioni a freddo, in particolare, svolgendosi senza l'applicazione di calore per raggiungere temperature elevate, non genera un processo di degradazione nel metallo. La superficie dei filetti dopo rullatura è inoltre perfettamente levigata. Anche in questo caso la realizzazione è veloce e con scarto di materiale praticamente assente.

La combinazione di stampaggio a freddo e rullatura per la realizzazione di viti è dunque particolarmente adatta per produzioni grandi e trova largo impiego in tutti i settori industriali dove è richiesto l'assemblaggio in serie numerose di due o più componenti per ottenere un prodotto finito.

BIBLIOGRAFIA

[1] http://www.sicurvit.it/

[2] https://www.gberardi.com/

[3] https://www.viteria-euganea.it/

[4] https://store.uni.com/

[5] https://www.edutecnica.it/meccanica/ms/ms.htm

[6] https://www.sidarma.com/

[7] https://psmcelada.it/?dl=4187

[8] https://www.univiti.it/info-tecniche/

[9] https://www.infoacciaio.com/glossario/trafilatura/

[10] https://britishsteel.co.uk/media/255363/acciai-per-stampaggio-a-freddo-ita.pdf

[11] https://www.ecotre.it/software/stampaggio-a-freddo/

[12] https://www.carlosalvi.com/it/

[13] https://www.sacmagroup.it/

[14] https://www.nationalmachinery.com/cold-forming-principals?lang=it

[15] https://www.bonfattifilettature.it/

[16] https://www.specialutensilild.it/

[17] https://www.sib-bagnolo.it/forni-impianti/

[18] https://lucefin.com/trattamenti-termici/

[19] https://inoxviti.it/come-funziona-il-trattamento-termico-di-tempra-delle-viti/

[20] https://baldaccimeccanica.it/carbonitrurazione-trattamento-acciao/

[21] https://www.trevisan.srl/trattamenti-termici-metalli/

[22] https://www.viteria-euganea.it/servizi-di-fornitura/trattamenti-superficiali/

[23] https://www.vipaspa.it/la-zincatura-elettrolitica/