

PROGETTARE IN ACCIAIO INOSSIDABILE

Giornata di studio organizzata da AIPI Associazione Italiana Progettisti Industriali
Milano, 14 maggio 1999

GLI ACCIAI INOSSIDABILI: TIPOLOGIE E CARATTERISTICHE. INOX CONVENZIONALI E DI NUOVA GENERAZIONE

Fausto Capelli - Centro Inox, Milano

Ne esistono di molti tipi con caratteristiche e impieghi diversi.

Gli acciai inossidabili sono delle leghe ferrose che riescono a unire le proprietà meccaniche, tipiche degli acciai, alle caratteristiche intrinseche dei materiali nobili quali, tipicamente, le notevoli doti di resistenza ai fenomeni corrosivi.

Perché inossidabili?

In effetti, il termine non corrisponde alla vera natura di questi metalli: essi, infatti, sono "ossidabilissimi", vale a dire hanno la possibilità, grazie al contenuto degli elementi in lega, essenzialmente alla percentuale di cromo, di "autopassivarsi" cioè di ricoprirsi di uno strato di ossidi invisibile, di dimensioni molecolari, che protegge il metallo sottostante dagli attacchi corrosivi.

Questo fenomeno si verifica ogni volta che l'ambiente è sufficientemente ossidante, come ad esempio l'aria che si respira, l'acqua, soluzioni varie, ecc. La natura di questo strato è tale da garantire la copertura del metallo, anche se localmente si verificano abrasioni od asportazioni della pellicola, a patto di essere sempre in condizioni sufficientemente ossidanti. Questo concetto è molto importante ai fini di una buona tenuta nel tempo e per contrastare in maniera adeguata i diversi casi di corrosione. E' necessario infatti consentire al materiale, sia in fase di lavorazione che di messa in opera, di poter scambiare con l'ambiente che lo circonda una sufficiente quantità di ossigeno, in modo da poter essere considerato nelle ottimali condizioni di passivazione.

Naturalmente questo film passivo può essere più o meno resistente e più o meno ancorato al materiale a seconda della concentrazione in cromo presente nella lega ed a seconda dell'eventuale presenza di altri elementi quali il nichel, il molibdeno, il titanio, ecc.

E' chiaro, quindi, che esistono diversi gradi di inossidabilità e di resistenza alla corrosione: esiste pertanto, nell'ambito degli inossidabili, una scala di nobiltà a seconda del contenuto in lega degli elementi succitati. Oltre alle caratteristiche di resistenza alla corrosione, c'è una vasta gamma di resistenze meccaniche che dà la possibilità di scegliere tra diversi tipi di prestazioni, sia a temperatura ambiente che a temperature elevate. Il generico utilizzatore si

trova, di conseguenza, di fronte a una notevole serie prestazionale ed il problema che spesso volte si pone è proprio quello di riuscire a scegliere il giusto materiale in funzione degli impieghi, in maniera tale da non "sottodimensionare" né "sovradimensionare" la scelta e riferirsi agli opportuni valori di nobiltà e di prestazioni meccaniche, adatti a un determinato servizio.

E' necessario, a questo punto, illustrare brevemente, per grosse aggregazioni, le diverse tipologie di questi acciai.

Come si classificano

Gli inox si dividono in tre grandi famiglie:

- * i martensitici,
- * i ferritici,
- * gli austenitici.

Gli inossidabili martensitici sono leghe al solo cromo (dall'11 al 18% circa), contenenti piccole quantità di altri elementi, come ad esempio il nichel. Sono gli unici inox che possono prendere tempra e pertanto aumentare le loro caratteristiche meccaniche (carico di rottura, carico di snervamento, durezza), mediante trattamento termico.

Buona è la loro attitudine alle lavorazioni per deformazione plastica, specie a caldo e nelle versioni risolforate danno anche discrete garanzie di truciolabilità.

Anche i ferritici sono acciai inossidabili al solo cromo (il contenuto è variabile dal 16 al 28%), ma non possono innalzare le loro caratteristiche meccaniche per mezzo di trattamenti termici.

Si lavorano facilmente per deformazione plastica, sia a caldo che a freddo, e possono essere lavorati alle macchine utensili (specie i tipi risolforati).

Presentano una buona saldabilità, specie nel caso delle saldature a resistenza (puntatura e rullatura).

Gli austenitici sono invece leghe al cromo-nichel, con cromo in quantità comprese tra il 17 e il 26% e nichel tra il 7 e il 22%.

Anche questi acciai non prendono tempra ma possono incrementare le proprietà tensili con incrudimenti per deformazione a freddo (laminazione, imbutitura, ecc.).

Esistono poi diverse versioni a basso contenuto di carbonio, stabilizzate, per i più svariati tipi di impiego. Ottima è la loro lavorabilità, soprattutto la deformabilità a freddo (specie l'imbutibilità) e le lavorazioni alle macchine utensili.

Essi possono essere anche validamente saldati sia a resistenza sia all'arco elettrico.

Oltre a queste tre categorie principali, esistono anche altre famiglie meno note, ma degne di menzione, per impieghi più specifici; sono da citare, ad esempio, gli acciai "austeno-ferritici", detti anche "duplex", che presentano una struttura mista di austenite e di ferrite.

Questi materiali sono impiegati quando vengono richieste caratteristiche di resistenza alla corrosione particolari (specie nei confronti della stress-corrosion); essi hanno saldabilità e caratteristiche meccaniche di solito superiori a quelle dei ferritici correnti.

Da citare sono anche gli acciai inossidabili "indurenti per precipitazione": questi presentano la possibilità di innalzare notevolmente le caratteristiche meccaniche con dei trattamenti termici particolari di invecchiamento, che consentono di far precipitare, nella matrice del metallo, degli elementi composti in grado di aumentare le proprietà meccaniche della lega. Inoltre, gli indurenti per precipitazione possiedono una notevole resistenza alla corrosione, certamente paragonabile a quella degli acciai austenitici classici.

Attualmente si è giunti ad una differenziazione notevole nella tipologia degli acciai inossidabili e se ne contano ben più di cento tipi. Si è pensato comunque di radunare quelli più correnti con le loro composizioni chimiche indicative e la corrispondenza approssimata tra le unificazioni dei diversi Paesi (tabella 1).

Le caratteristiche fisiche e meccaniche

Con gli acciai inossidabili c'è la possibilità di disporre di una vasta gamma di proprietà sia fisiche che meccaniche per le più disparate situazioni applicative.

Caratteristiche fisiche

Il peso specifico è variabile a seconda della diversa composizione chimica ed è compreso tra $7,7 \text{ g/cm}^3$ per i tipi martensitici e ferritici e $8,06 \text{ g/cm}^3$ per gli austenitici.

Per la conducibilità termica c'è da tener presente che gli acciai a struttura ferritica e martensitica conducono meglio il calore rispetto agli acciai austenitici: anche la resistività elettrica è fortemente differenziata tra gli austenitici, dove è più elevata che negli altri tipi.

Da considerare è anche il coefficiente di dilatazione termica: gli austenitici dilatano molto con la temperatura, rispetto agli altri inossidabili.

Infine, diversa è anche la permeabilità magnetica relativa, infatti le famiglie martensitica e ferritica sono sostanzialmente ferromagnetiche, mentre quella austenitica è amagnetica. Per le prime, questa caratteristica fisica non è molto influenzata dall'incrudimento per deformazione a freddo, mentre gli austenitici risentono molto di più di questo fenomeno.

Caratteristiche meccaniche

Sono differenti a seconda dei diversi tipi e possono essere sintetizzate come segue.

I tipi austenitici non sono suscettibili di innalzare le loro caratteristiche mediante tempra e conseguentemente hanno qualità resistenziali non elevate.

Sono capaci però di innalzare anche di molto la loro resistenza mediante incrudimento per deformazione plastica a freddo, elevando il carico di rottura. Questo fenomeno è molto sfruttato proprio nello stampaggio a freddo di questi materiali.

Posseggono elevate caratteristiche di resistenza a fatica. Quella agli urti è molto alta, sia a temperatura ambiente, sia a temperature assai basse.

Anche i tipi ferritici non sono suscettibili di trattamento di tempra e conseguentemente presentano caratteristiche resistenziali non elevate.

L'incrudimento per deformazione plastica a freddo incrementa anche in questo caso le caratteristiche di resistenza, ma in misura minore rispetto agli austenitici.

I tipi martensitici offrono le migliori caratteristiche di resistenza meccanica fra gli acciai inossidabili, quando sono messi in opera allo stato bonificato (tempra e rinvenimento).

Nella tabella 2 sono state elencate alcune delle caratteristiche fisiche e meccaniche tra le più significative dei principali acciai inox più utilizzati.

I prodotti siderurgici esistenti

La notevole diversificazione delle applicazioni industriali, raggiunta dagli acciai inossidabili, ha necessariamente portato le ditte trasformatrici all'esigenza di poter disporre sul mercato di diversi prodotti siderurgici nei vari formati.

I prodotti di base, forniti da acciaieria, possono distinguersi in prodotti "piatti" e prodotti "lunghi".

Tra i primi si possono classificare:

- * larghi piatti (laminati o ricavati da lamiere),
- * lamiere laminate a caldo,
- * lamiere laminate a freddo,
- * nastro laminato a caldo,
- * nastro laminato a freddo.

Tra i secondi:

- * prodotti in barre (lamine o trafilate),
- * filo,
- * filo senza saldatura,
- * tubi saldati;

a questi prodotti sono da aggiungere i "getti", vale a dire diversi prodotti ottenuti per fusione.

Sia per i prodotti piatti che per i prodotti lunghi, esistono ormai disponibilità, in commercio, di svariate dimensioni, tali da soddisfare ogni tipo di esigenza applicativa.

Dai formati standard forniti da acciaieria è comunque possibile ottenere qualsiasi genere di sottoformato a misura per richieste particolari.

A livello di normativa italiana, si può fare riferimento, per i vari prodotti sopra citati, alle seguenti norme UNI.

- **UNI 3159:** getti di acciaio inossidabile o lega colati in sabbia, resistenti al calore (refrattari). Qualità, prescrizioni e prove.
- **UNI 3161:** getti di acciaio inossidabile colati in sabbia, resistenti alla corrosione. Qualità, prescrizioni e prove.
- **UNI 6900:** acciai legati speciali inossidabili resistenti alla corrosione e al calore.

- **UNI 6901:** semilavorati e barre laminati o fucinati a caldo e vergella di acciaio speciale inossidabile resistente alla corrosione e al calore.
- **UNI 6904:** tubi senza saldatura di acciaio legato speciale inossidabile resistente alla corrosione ed al calore.
- **UNI 8317:** prodotti finiti piatti di acciaio inossidabile resistente alla corrosione e al calore. Lamiera, lamiera sottili, nastri e nastri larghi.

Il fenomeno "corrosione"

E' sempre molto aleatorio poter prevedere, in generale, il comportamento nel tempo di un determinato materiale metallico se messo in contatto con un certo ambiente.

Gli acciai inossidabili, grazie alla loro composizione chimica, hanno la possibilità di autopassivarsi, come già visto, e di poter far fronte alle più disparate condizioni di aggressione.

Sono molti i parametri che giocano a favore dell'innesco di un fenomeno corrosivo:

- * la concentrazione dell'agente aggressivo,
- * la temperatura dell'agente aggressivo,
- * la velocità di fluido sulle pareti del materiale,
- * la finitura superficiale del metallo, ecc.

Normalmente però, i due valori più determinanti da tenere presente sono la concentrazione e la temperatura della sostanza corrosiva; ecco perché nella scelta di un certo inox in funzione dell'ambiente nel quale dovrà lavorare, è necessario conoscere, se possibile, almeno, questi due parametri.

In generale, il miglior comportamento nei confronti dei fenomeni corrosivi, è offerto dagli acciai austenitici, in particolare da quelli legati al cromo-nichel-molibdeno, che presentano un film passivo particolarmente resistente.

Nell'ordine poi vengono i ferritici ed i martensitici che sono quelli a più basso tenore di cromo. Per evitare che si inneschino corrosioni sugli inox, oltre a scegliere opportunamente il tipo di materiale in funzione del servizio al quale esso è destinato, è bene anche seguire alcune precauzioni durante le lavorazioni e la messa in opera.

E' necessario intanto, sia in fase di stoccaggio dei prodotti, sia in fase di trasformazione durante le lavorazioni, sia durante le installazioni, evitare contaminazioni con materiali meno nobili, come ad esempio quelle causate dall'acciaio comune. L'inox eventualmente contaminato, anche in presenza di un aggressivo molto blando, può macchiarsi e dare inizio a fenomeni corrosivi localizzati.

Le unioni con materiale d'apporto devono venire eseguite con gli elettrodi indicati per il materiale di base; mentre le giunzioni effettuate con elementi meccanici devono prevedere che i materiali costituenti gli organi di collegamento siano di inox o di pari nobiltà (per esempio

monel, ecc.). Questo per evitare che si inneschino corrosioni galvaniche dovute alla differente nobiltà dei metalli messi a contatto.

Non bisogna utilizzare, sui componenti finiti, soluzioni detergenti o decapanti che abbiano elevate percentuali di sostanze clorurate (ad esempio non si deve usare acido cloridrico o muriatico commerciale). A volte, per pulire efficacemente le superfici dell'inox è sufficiente la normale acqua e sapone, oppure acqua e soda.

In casi ove la sporcizia sia molto più resistente, o dove sia necessario procedere a decapaggio (per esempio per i cordoni di saldatura) o a decontaminazione (nel caso di contaminazione ferrosa), è possibile utilizzare appositi prodotti in pasta da impiegare in maniera localizzata sulla zona da trattare.

* * * * *

Tab. 1 - Composizione chimica indicativa e designazione AISI di alcuni tipi di acciai inossidabili più impiegati

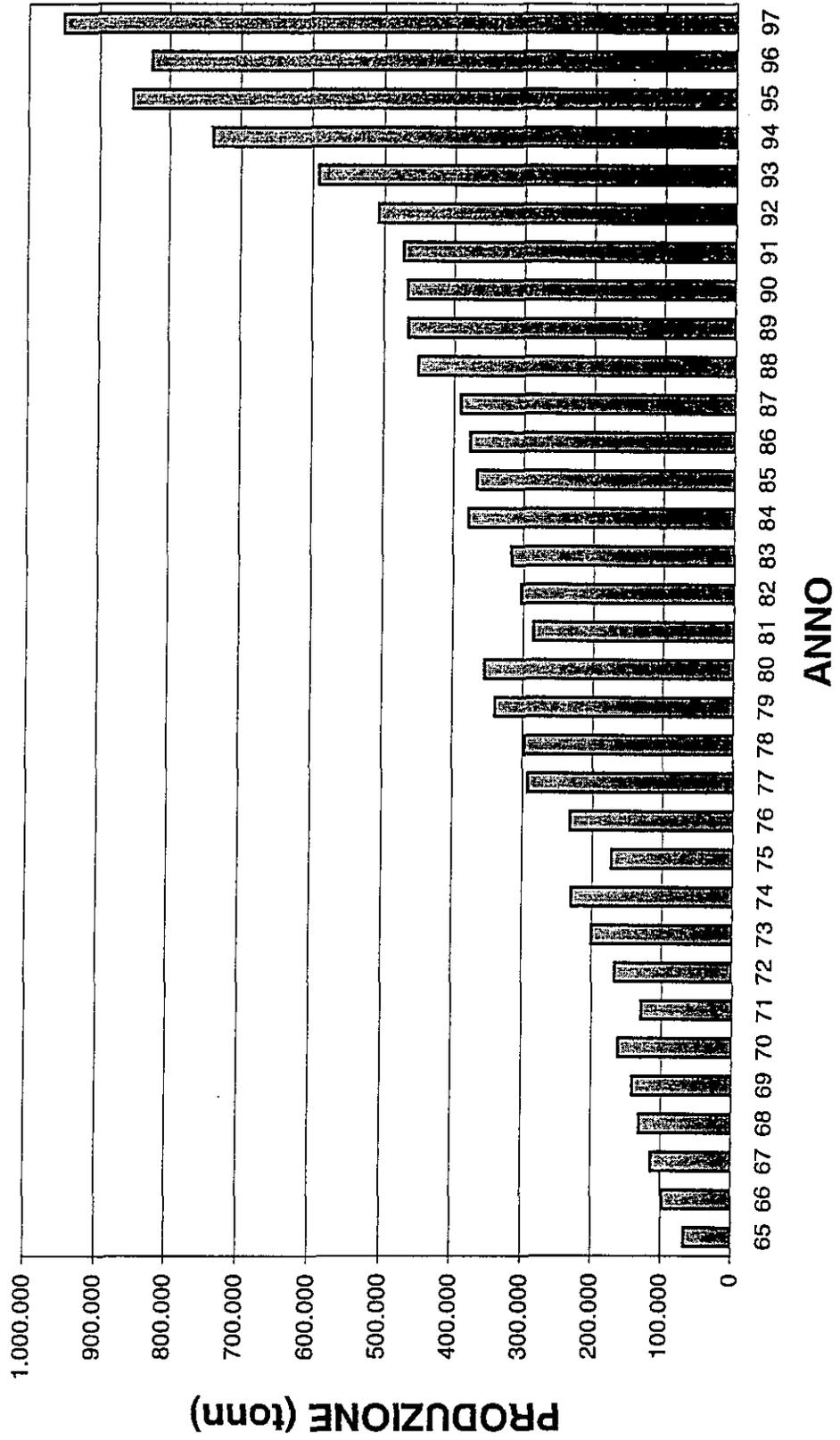
Tipo di struttura	ANALISI INDICATIVA %									AISI (U.S.A.)
	C	Mn max	P max	S max	Si max	Cr	Ni	Mo	Altri elementi	
austenitica	0,15 max	2	0,045	0,030	1	16 ÷ 18	6 ÷ 8	-	-	301
austenitica	0,15 max	2	0,20	0,15 min	1	17 ÷ 19	8 ÷ 10	0,60 max	-	303
austenitica	0,15 max	2	0,20	0,060	1	17 ÷ 19	8 ÷ 10	-	Se = 0,15 min	303Se
austenitica	0,08 max	2	0,045	0,030	1	18 ÷ 20	8 ÷ 10,5	-	-	304
austenitica	0,03 max	2	0,045	0,030	1	18 ÷ 20	8 ÷ 12	-	-	304 L
austenitica	0,20 max	2	0,045	0,030	1	22 ÷ 24	12 ÷ 15	-	-	309
austenitica	0,08 max	2	0,045	0,030	1	22 ÷ 24	12 ÷ 15	-	-	309 S
austenitica	0,25 max	2	0,045	0,030	1,50	24 ÷ 26	19 ÷ 22	-	-	310
austenitica	0,08 max	2	0,045	0,030	1,50	24 ÷ 26	19 ÷ 22	-	-	310 S
austenitica	0,06 max	2	0,045	0,030	1	16 ÷ 18,5	10,5 ÷ 13,5	2 ÷ 2,5	-	316
austenitica	0,08 max	2	0,20	0,10 min	1	16 ÷ 18	10 ÷ 14	1,75 ÷ 2,5	-	316 F
austenitica	0,03 max	2	0,045	0,030	1	16 ÷ 18,5	11 ÷ 14	2 ÷ 2,5	-	316 L
austenitica	0,08 max	2	0,045	0,030	1	17 ÷ 19	9 ÷ 12	-	Ti = 5 x C min	321
austenitica	0,08 max	2	0,045	0,030	1	17 ÷ 19	9 ÷ 13	-	Nb ÷ a = 10 x C min	347
ferritica	0,08 max	1	0,045	0,045	1	10 ÷ 11,5	-	-	Ti = 6xC min; 0,75 max	409
martensitica	0,15 max	1	0,040	0,030	1	11,5 ÷ 13,5	-	-	-	410
martensitica	0,15 max	1,25	0,060	0,15 min	1	12 ÷ 14	-	0,60 max	-	416
martensitica	0,16 ÷ 0,25	1	0,040	0,030	1	12 ÷ 14	1 max	-	-	420
ferritica	0,12 max	1	0,040	0,030	1	16 ÷ 18	-	-	-	430
ferritica	0,12 max	1,25	0,060	0,15 min	1	16 ÷ 18	-	0,60 max	-	430 F

Tab. 2 - Alcune caratteristiche fisiche e meccaniche degli acciai inox presentati in tabella 1

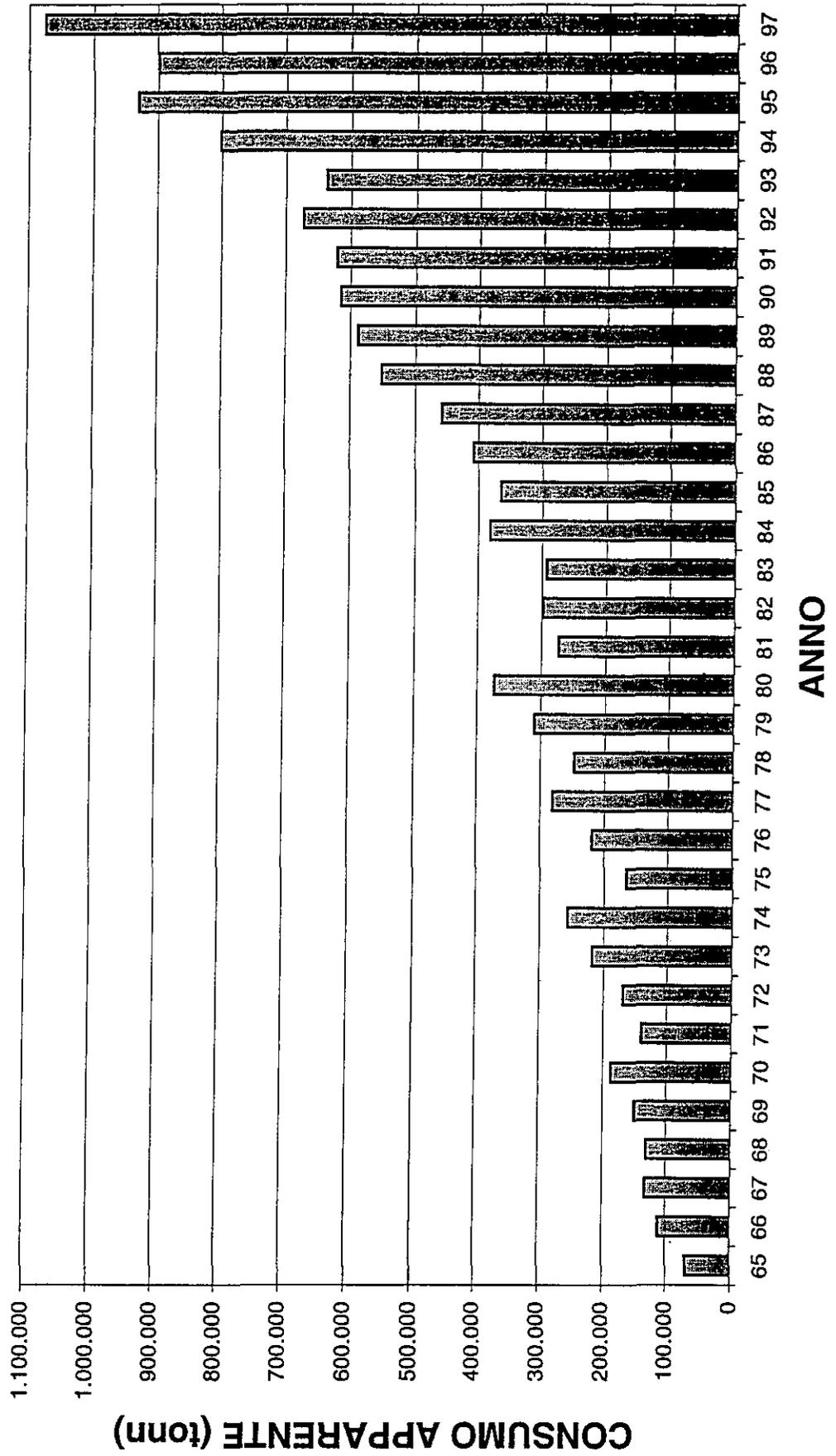
Tipo di acciaio (AISI)	CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE						
	Peso specifico (g/cm ³)	Coeff. di conducibilità termica (cal/cm °C s)	Coeff. di dilatazione termica medio (X 10 ⁻⁶ °C ⁻¹)	Carico di rottura (kg/mm ²) R	Carico di snervamento (kg/mm ²) R _{p(0,2)} min	Allungamento a rottura (%) A	Durezza HRB max
301	8,06	0,039	16,9	60 ÷ 75	22	45	92
303	8,06	0,039	17,3	50 ÷ 75	22	40	-
303 Se							
304	8,06	0,039	17,3	55 ÷ 70	20	45	88
304 L	8,06	0,039	17,3	53 ÷ 68	18	45	88
309	8,06	0,037	15,0	55 ÷ 70	23	40	95
309 S	8,06	0,037	15,0	53 ÷ 68	21	40	95
310	8,06	0,034	15,9	55 ÷ 70	23	40	95
310 S	8,06	0,034	15,9	53 ÷ 68	21	40	95
316	8,06	0,039	16,0	55 ÷ 70	21	40	95
316 F	8,06	0,034	16,5	59 ÷ 70	27	60	85
316 L	8,06	0,039	16,0	53 ÷ 68	20	40	95
321	8,06	0,038	16,6	55 ÷ 70	21	40	88
347	8,06	0,038	16,6	55 ÷ 70	21	40	88
409	7,68	0,062	11,7	46	24	25	75
410	7,78	0,059	9,9	70 ÷ 90	50	14	97 (*)
416	7,78	0,059	9,9	70 ÷ 90	50	14	97 (*)
420	7,78	0,059	10,3	75 ÷ 95	55	13	97 (*)
430	7,78	0,062	10,4	45 ÷ 60	26	22	88
430 F	7,78	0,062	10,4	50 ÷ 70	30	15	92

(*) Valori ricavati su provette allo stato di ricottura di lavorabilità

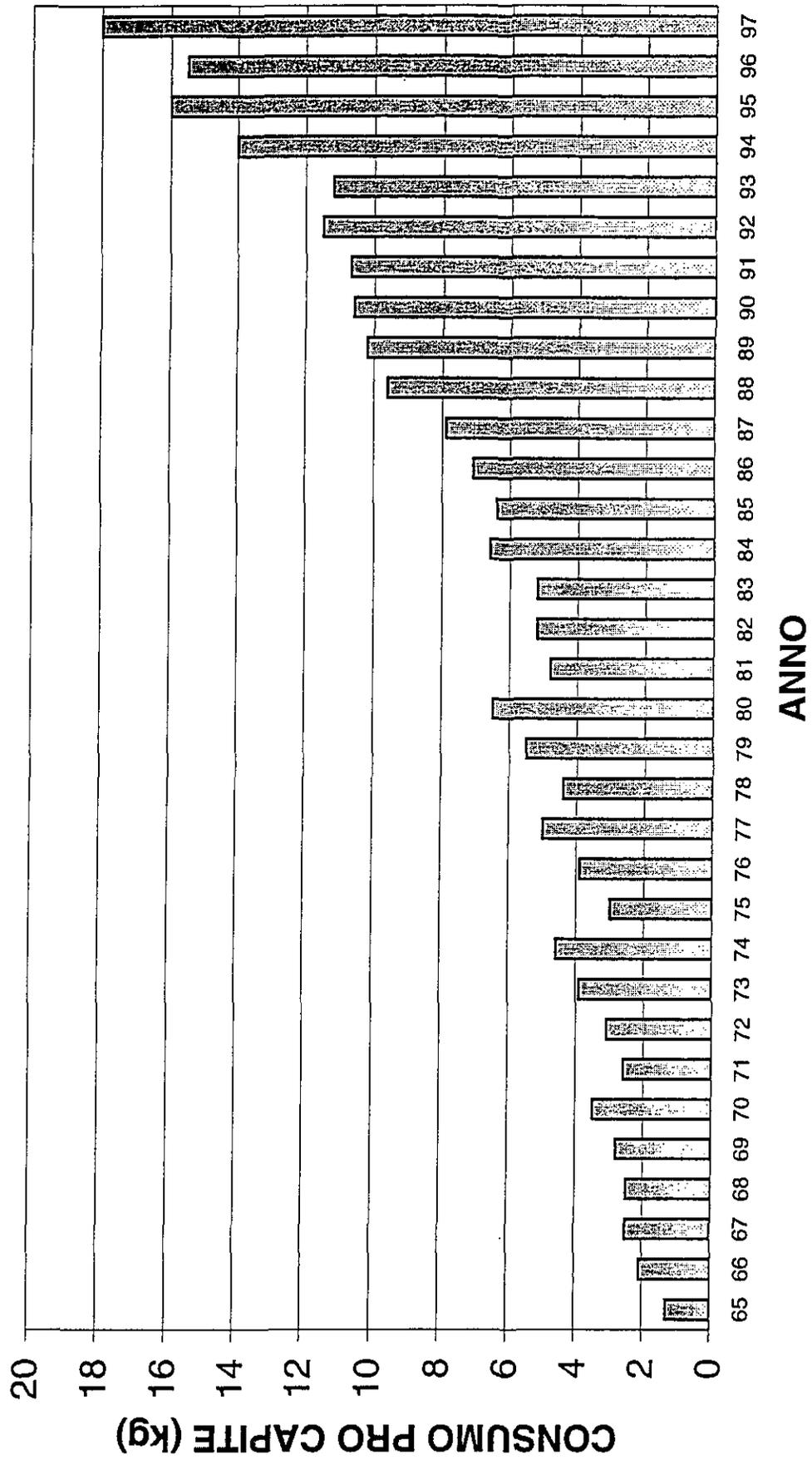
PRODUZIONE ITALIANA DI ACCIAIO INOSSIDABILE (prodotti finiti da acciaieria)



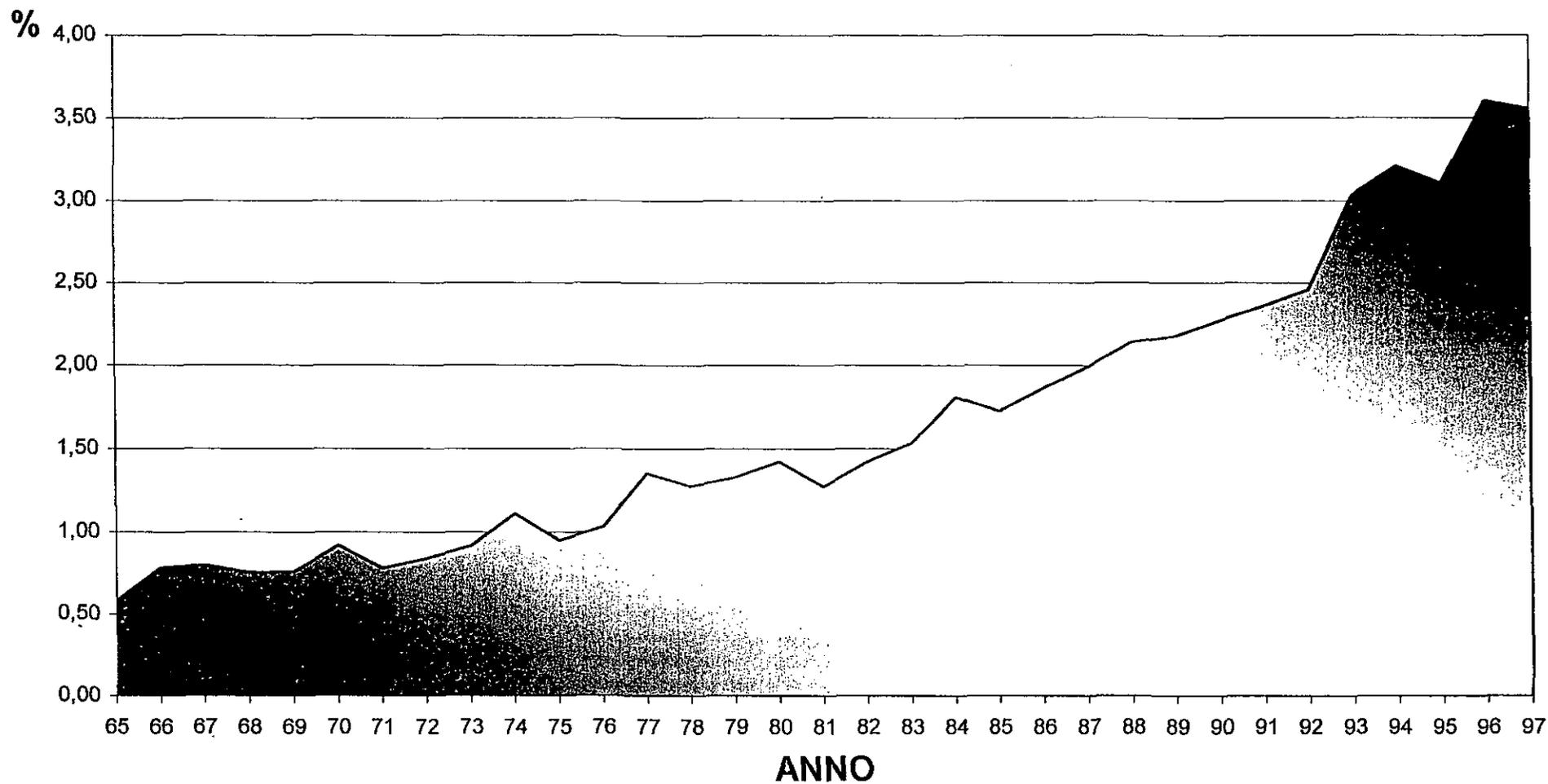
CONSUMO APPARENTE DI ACCIAIO INOSSIDABILE IN ITALIA



**CONSUMO APPARENTE PRO CAPITE
DI ACCIAIO INOSSIDABILE IN ITALIA**



Rapporto percentuale del consumo apparente di acciaio inossidabile rispetto al consumo apparente totale di acciaio

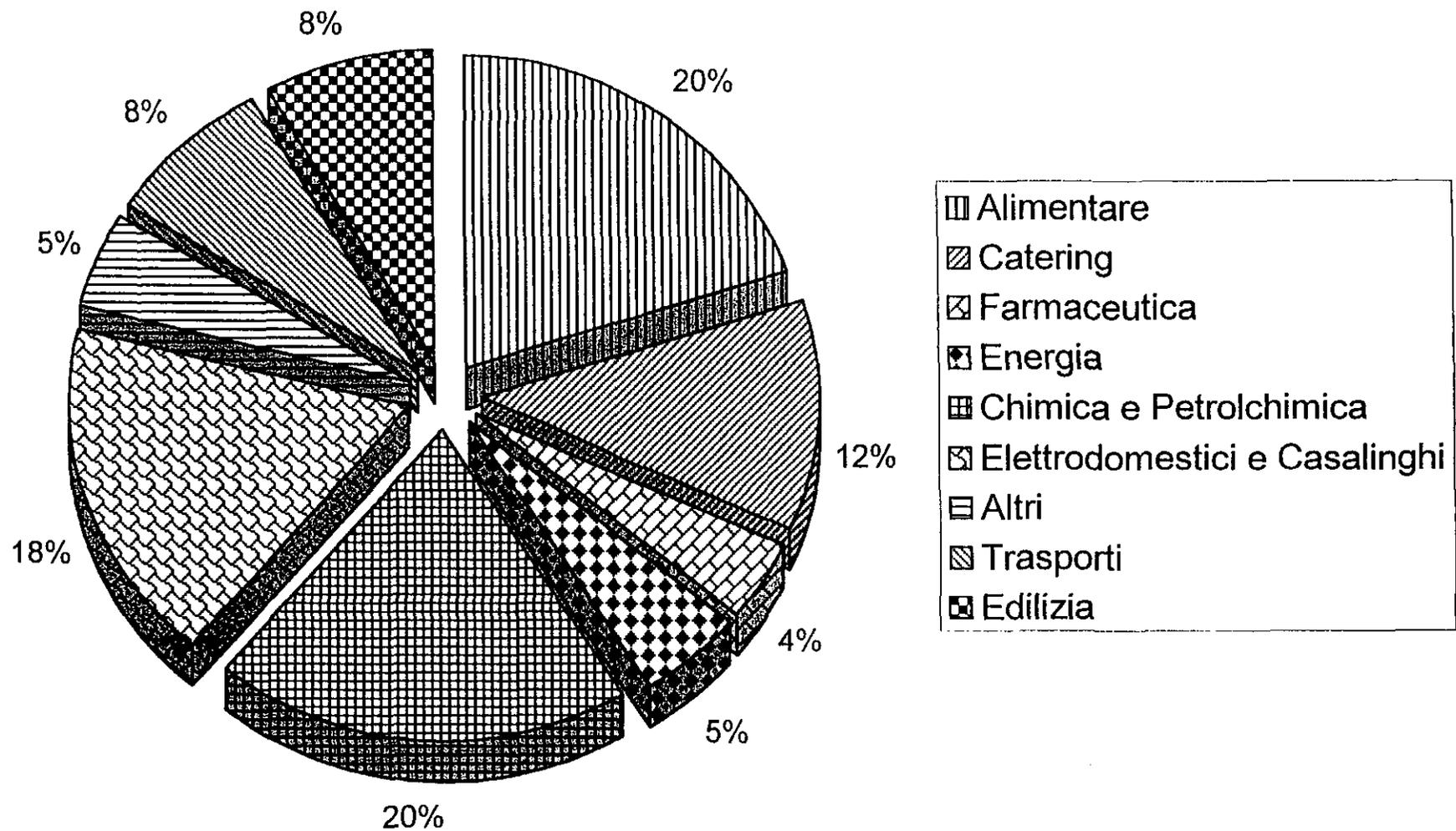


Rapporto percentuale del consumo apparente di acciaio inossidabile
rispetto al consumo apparente totale di acciaio

ANNO	Consumo pro-capite INOX*	Consumo pro-capite TOTALE ACCIAIO*	Rapporto
65	1,3	224	0,58
66	2,1	268	0,78
67	2,5	312	0,80
68	2,5	331	0,76
69	2,8	369	0,76
70	3,5	380	0,92
71	2,6	332	0,78
72	3,1	369	0,84
73	3,9	426	0,92
74	4,6	414	1,11
75	3	316	0,95
76	3,9	378	1,03
77	5	369	1,36
78	4,4	344	1,28
79	5,5	413	1,33
80	6,5	456	1,43
81	4,8	377	1,27
82	5,2	365	1,42
83	5,2	339	1,53
84	6,6	364	1,81
85	6,4	370	1,73
86	7,1	381	1,86
87	7,9	397	1,99
88	9,6	448	2,14
89	10,2	468	2,18
90	10,6	466	2,27
91	10,7	453	2,36
92	11,5	468	2,46
93	11,2	369	3,04
94	14	436	3,21
95	16	515	3,11
96	15,5	430	3,60
97	18	506	3,56

* KG/persona

Ripartizione percentuale dei consumi di acciaio inox in Italia (stima)



NUOVI SETTORI DI IMPIEGO PER GLI ACCIAI INOSSIDABILI "CLASSICI"

Acciai inossidabili classici

GRUPPI	SEGMENTI
Edilizia	Canne fumarie
	Parti strutturali
	Servizi (ascensori, serramenti, etc.)
Infrastrutture	Impianti per acqua potabile
	Impianti di depurazione acque
	Arredo urbano
	Ponti e viadotti
Trasporti	Autobus (parti strutturali)
	Auto (impianti di scarico e parti strutturali)
	Veicoli industriali

Tendenze nell'uso di nuovi tipi di acciai inossidabili in alcuni settori di "nicchia"

Fascia Alta

- chimica di processo
- petrolchimica off-shore
- alimentare

SUPERAUSTENITICI:	es. 1.4539 (904L) 1.4547 (254 SMO) 654 SMO
SUPERDUPLEX:	es. 1.4410 (SAF 2507)
DUPLEX:	es. 1.4462 (SAF 2205)
SUPERFERRITICI:	es. 1.4521 (444-ELI)

↑
ACCIAI
INOSSIDABILI
CLASSICI
↓

Impieghi strutturali

- industria dei trasporti
- edilizia
- infrastrutture

FERRITICI STRUTTURALI: es. 1.4003