

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria chimica e dei materiali

**Studio dell'effetto della corrente elettrica nei trattamenti di
riconversione della martensite da deformazione in acciai AISI304**

Tutor universitario: Prof. Claudio Gennari

Laureanda: *Marialucrezia di Monaco*

Padova, 09/11/2022



Materiale di partenza: Acciaio AISI304, inossidabile austenitico composto da un tenore di cromo tra 18% e 20% , Nickel tra 8% e 11% e un basso tenore di carbonio, circa 0,05%. Presenta buona resistenza a corrosione, duttilità, saldabilità.

Struttura austenitica metastabile a temperatura ambiente quindi l'applicazione di una deformazione induce una trasformazione di fase austenite → martensite

Con un processo di reversione è possibile recuperare la martensite da deformazione formata attraverso due meccanismi:

Trasformazione martensitica, quindi senza diffusione

Trasformazione diffusiva, con processi di nucleazione e accrescimento

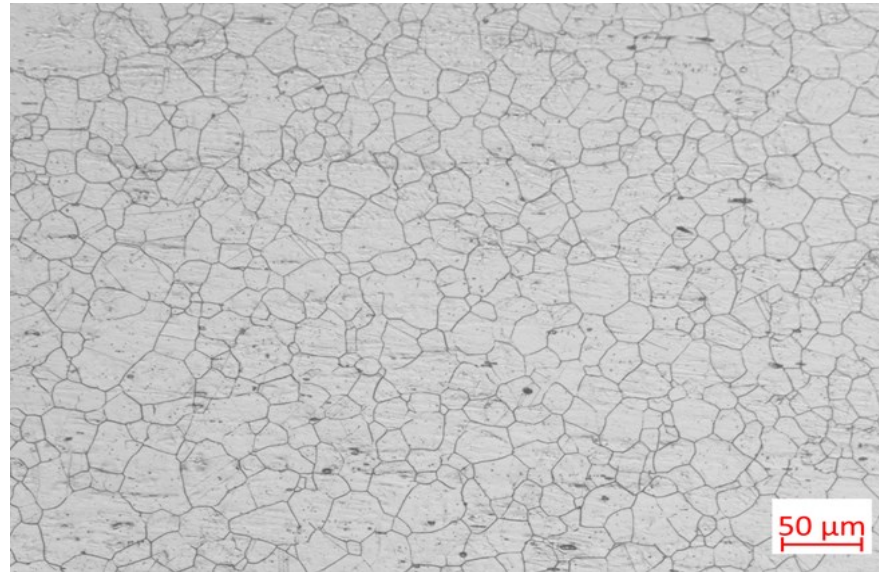
Obiettivo:

Riconvertire la martensite da deformazione effettuando due tipi di trattamenti, termico e termoelettrico, confrontandoli e valutando se l'utilizzo della corrente elettrica possa avere un'influenza diversa, rispetto al solo effetto termico, sulla riconversione della martensite, sulle proprietà meccaniche, in particolare la durezza e a livello microstrutturale



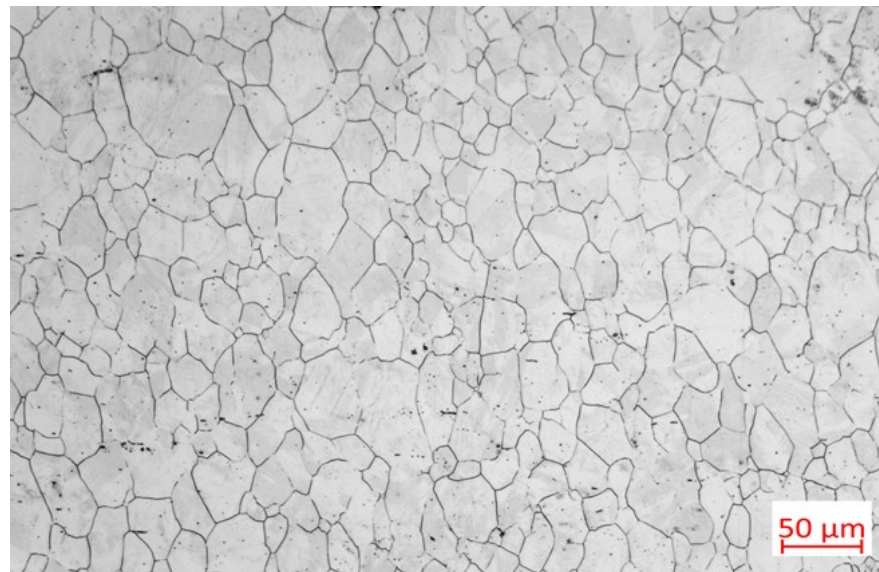
Confronto campione tal quale e cold rolled 50%

Esaminando la microstruttura con il microscopio ottico e confermandolo con analisi xrd vediamo che nel nostro materiale di partenza non è presente martensite. Tramite laminazione, riduciamo lo spessore del materiale del 50% (1mm→0,5mm) portando alla formazione di martensite da deformazione



Tal quale:
grani equiassici,
orientati senza
una direzione ben
precisa

Cold rolled 50%

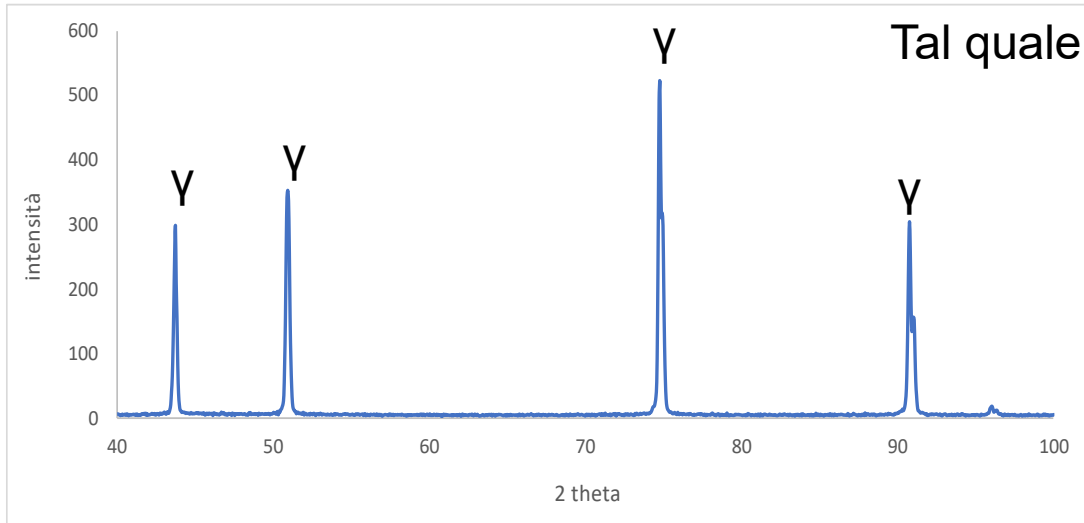


Cold rolled 50%:
Grani allungati e
orientati verso una
direzione
preferenziale a
causa della
laminazione.
Tessitura presente



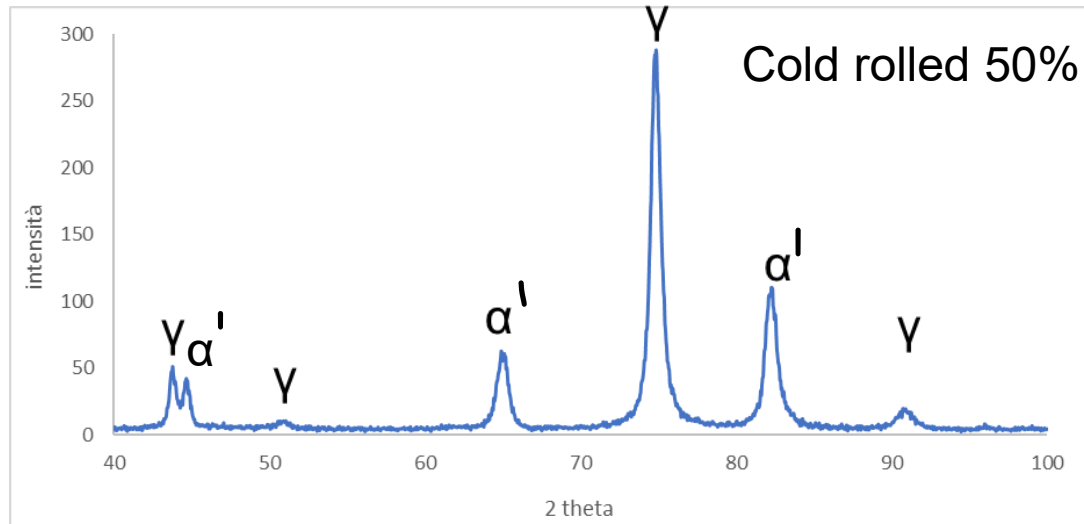
Confronto campione tal quale e cold rolled 50%

Presenza di martensite e tessitura dei grani nel campione laminato vengono confermate da xrd



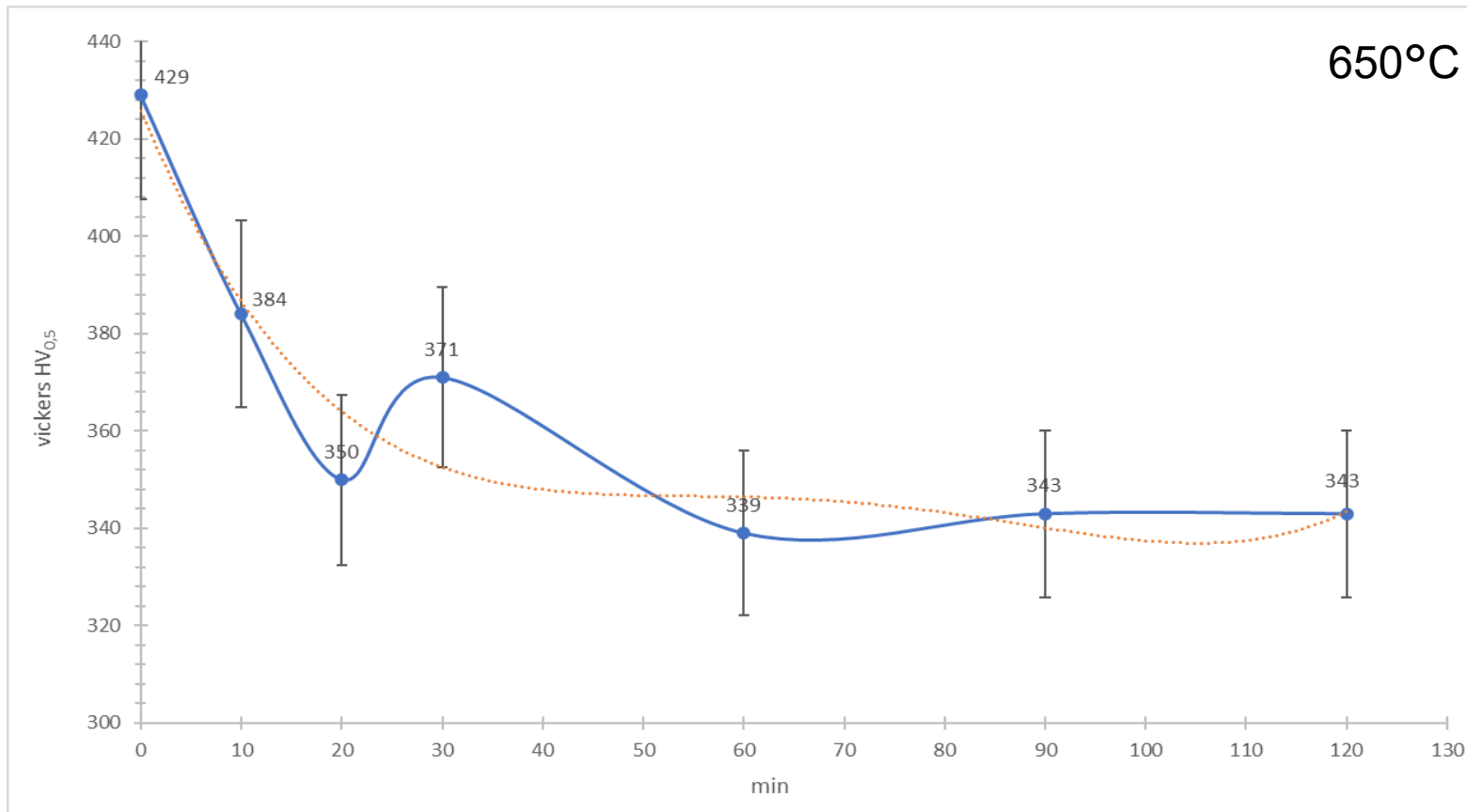
Durezza del campione tal quale $197HV_{0,5}$
Durezza del campione cold rolled 50% $457HV_{0,5}$

I picchi di austenite sono tutti più o meno elevati, questo vuol dire che i grani sono orientati in direzioni differenti

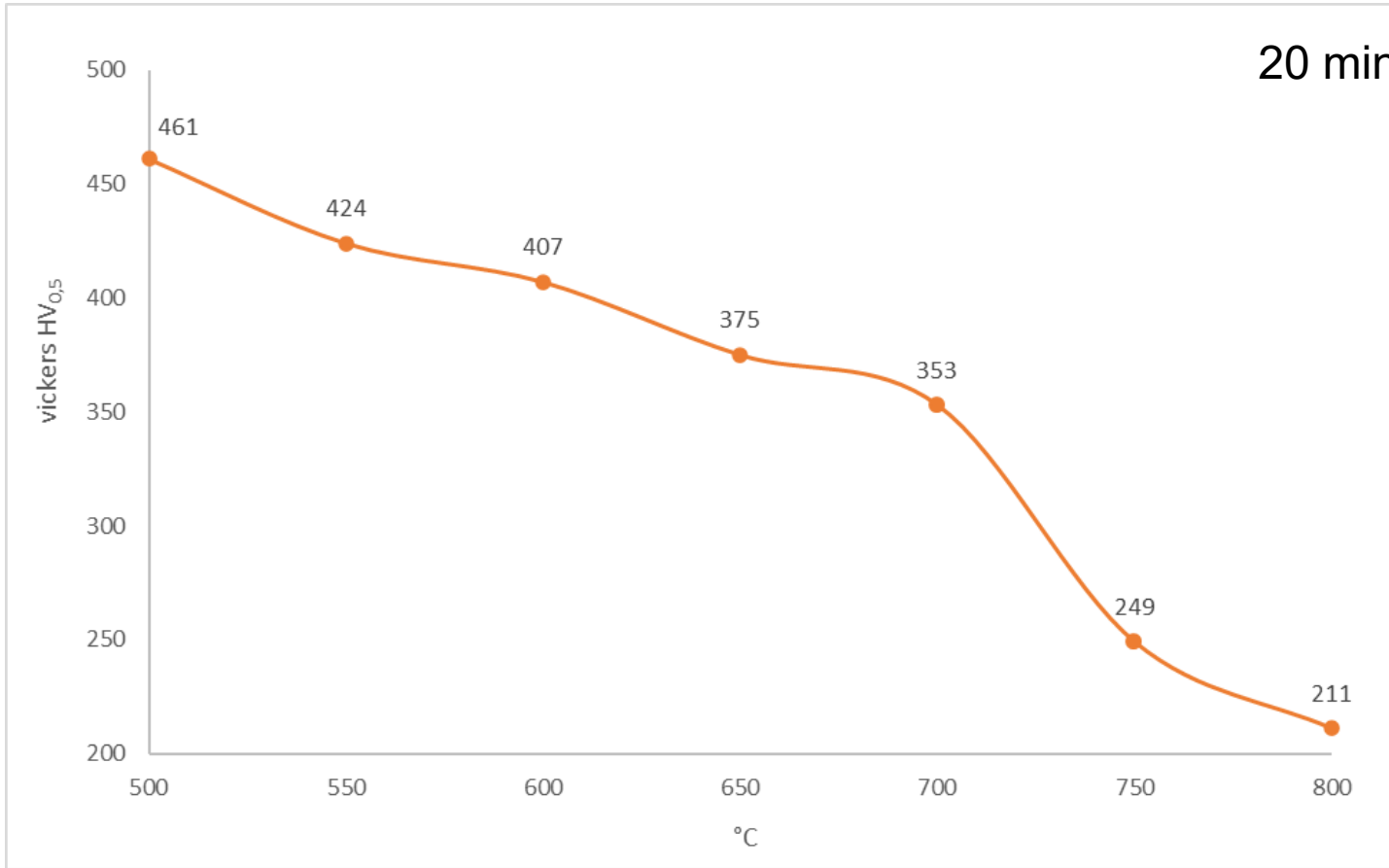


Invece nel campione laminato i grani sono allungati e orientati lungo una direzione preferenziale (quella di laminazione), per questo si ha un picco molto più alto rispetto agli altri che si sono abbassati, diventando minimi. Vengono rilevati molti grani orientati nello stesso modo. Inoltre il campione, dopo deformazione, si è incrudito, infatti i picchi sono più larghi.

Una volta introdotta la martensite abbiamo eseguito i trattamenti termici in forno
Temperatura fissa 650°C e tempi diversi: 10 min, 20 min, 30 min, 60 min, 90 min, 120 min

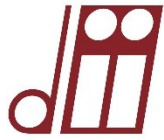


La durezza cala inizialmente ma già dopo i 20 minuti la curva inizia a stabilizzarsi. Probabilmente a quella temperatura la trasformazione della martensite inizia ma non riesce a completarsi

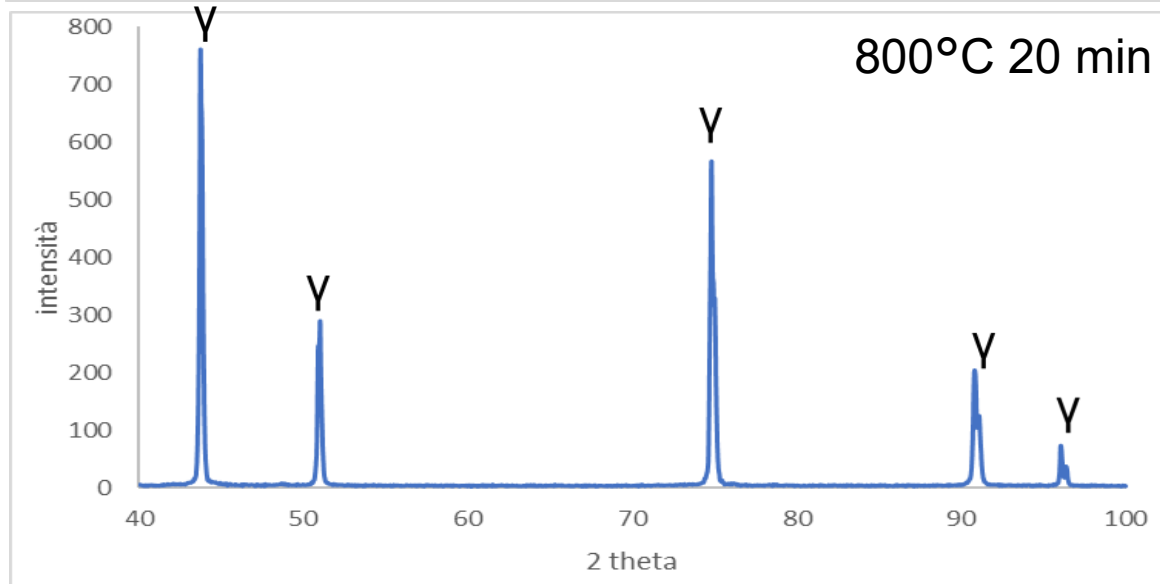
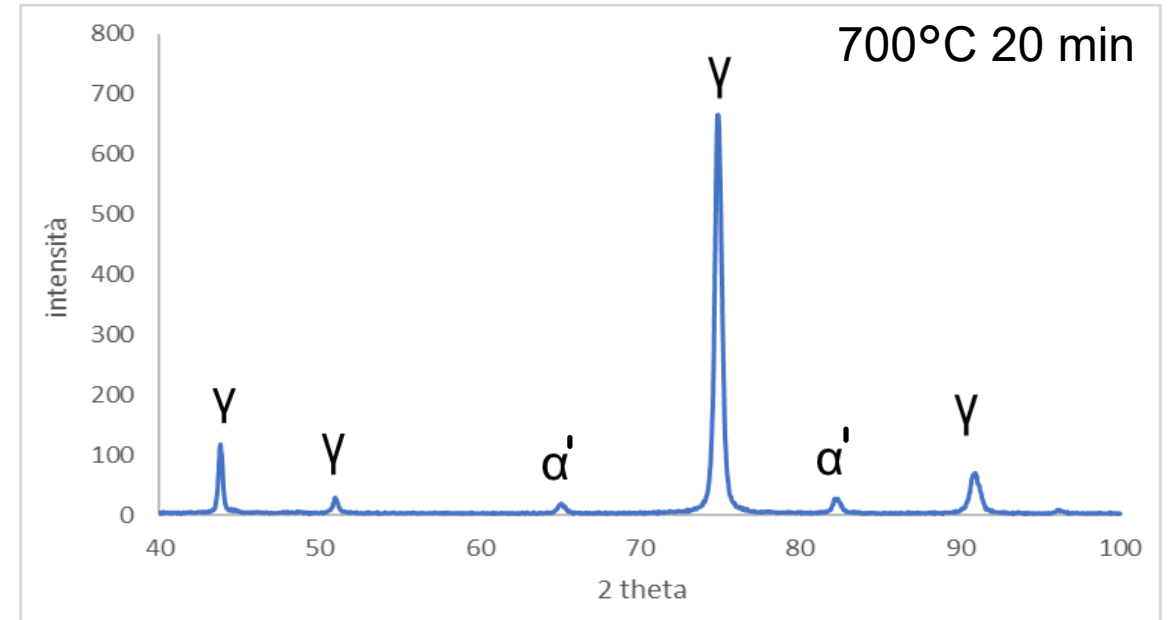
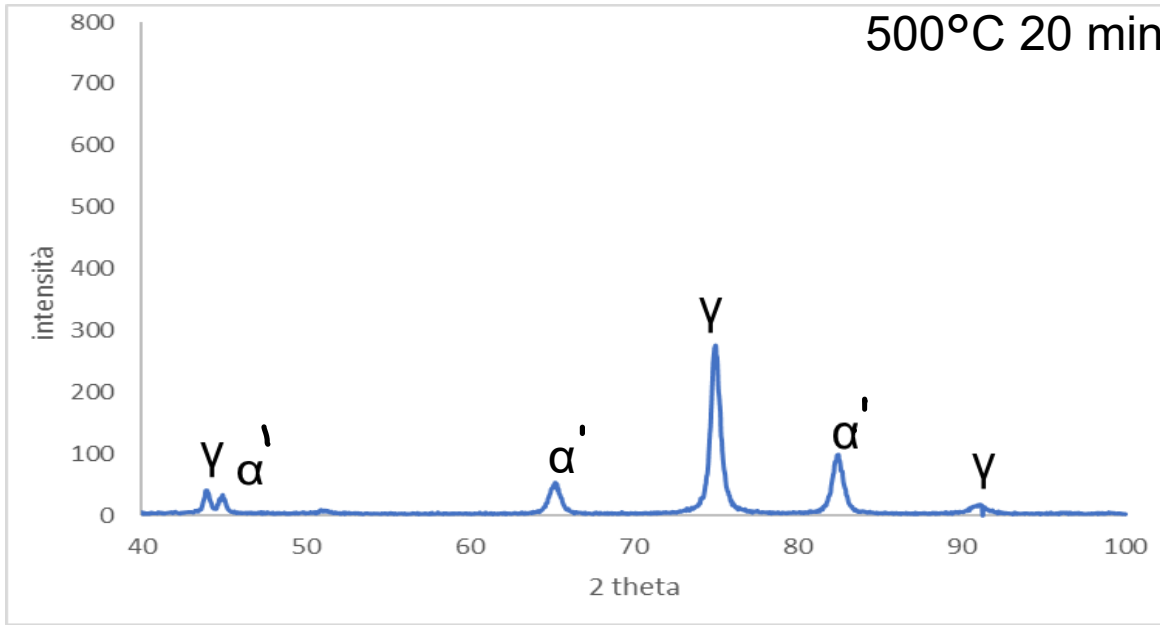


A 500°C il valore della durezza è 461HV_{0,5}, quindi più o meno lo stesso del materiale deformato 457HV_{0,5}. Piccola e graduale diminuzione della durezza nella fase iniziale e un calo drastico tra i 700°C e 800°C.

Per una questione di praticità di esecuzione della prova ci siamo basati su un tempo di venti minuti per effettuare i trattamenti termoelettrici.



Confronto xrd a diverse temperature

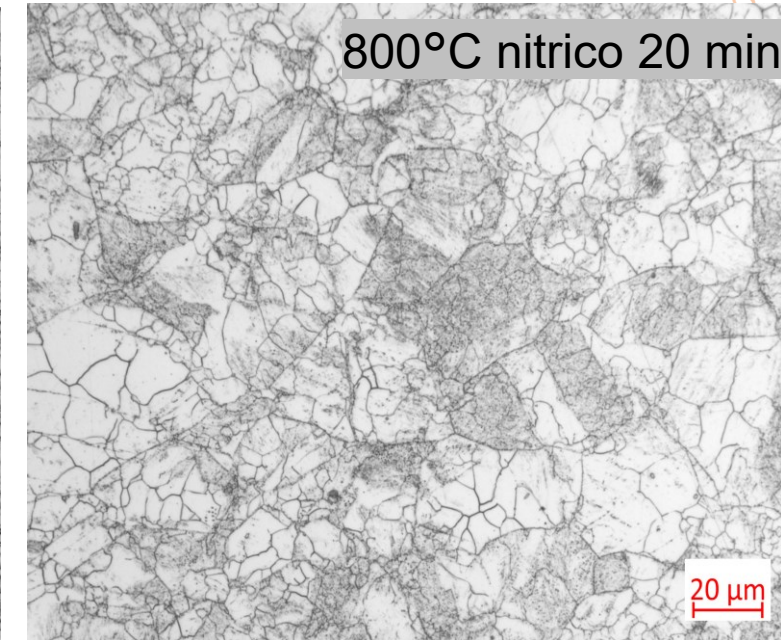
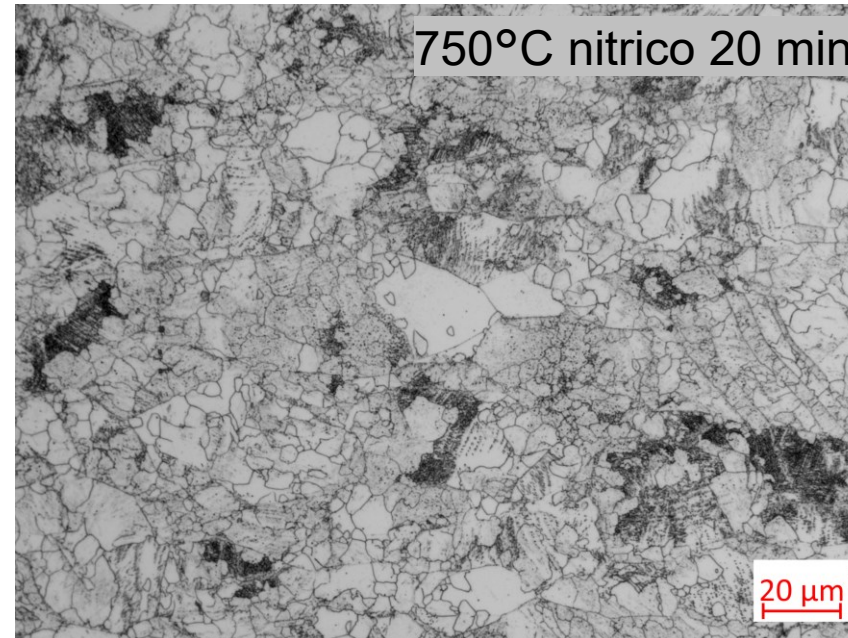
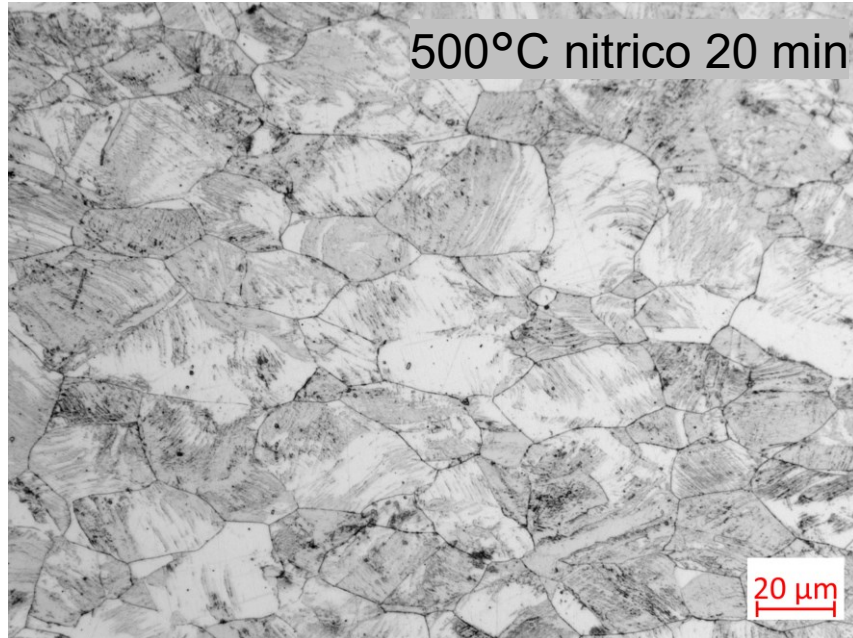


Il picco della martensite si abbassa a 700°C ed è nullo a 800°C.

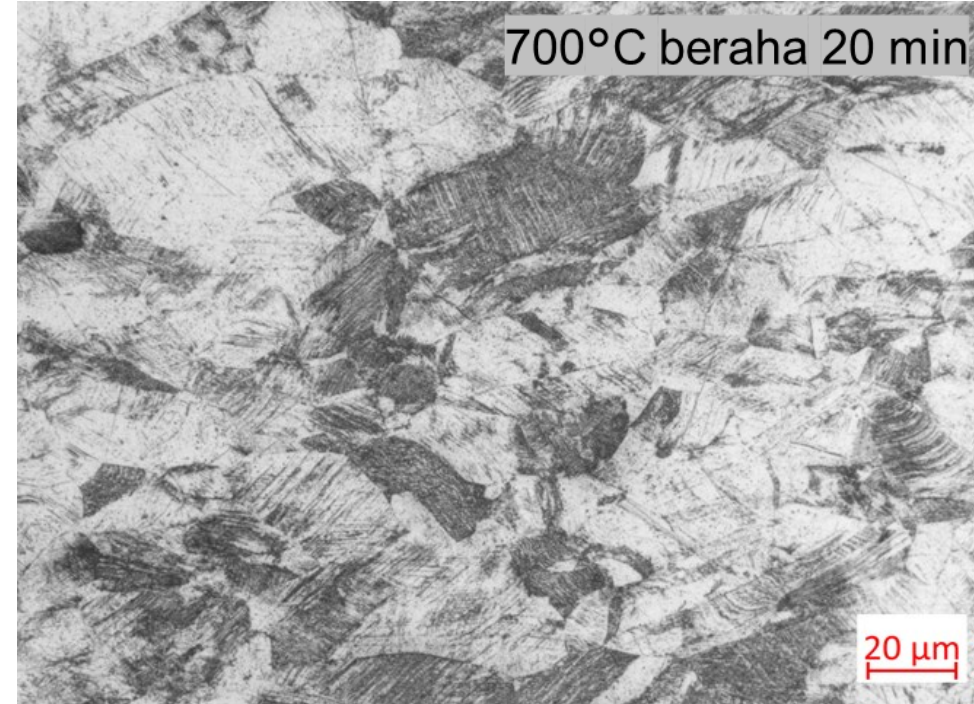
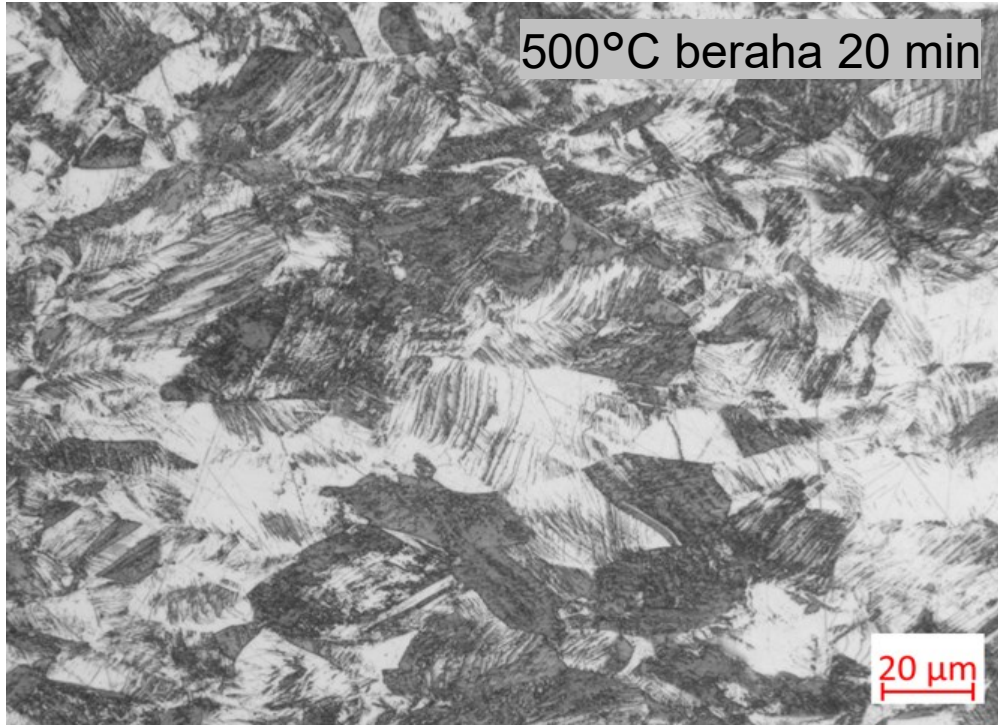
A 800°C il campione inizia a ricristallizzare, in quanto a 700°C si riscontra un solo picco di γ molto alto mentre gli altri risultano minimi. Questo significa che la maggior parte dei grani sono ancora orientati nella stessa direzione. A 800°C invece si ha la presenza di picchi di altezza più o meno elevata. I grani iniziano ad avere orientazioni differenti.



Confronto microstruttura a diverse temperature



La ricristallizzazione è evidente anche nelle foto della microstruttura, in cui si vede a 500°C una grana molto grossa mentre a 750°C la situazione è nettamente diversa, composta da zone ad alta densità di bordo grano, piccoli grani di γ in accrescimento e grani di γ residua non ancora ricristallizzati ma in fase di nucleazione. A 800°C la struttura è più omogenea ma non è da escludere una non completa ricristallizzazione



Presenza consistente di martensite a 500°C che diminuisce visibilmente a 700°C



Trattamenti termoelettrici con un generatore di corrente collegato a una macchina di trazione
20 min 500°C, 600°C, 700°C

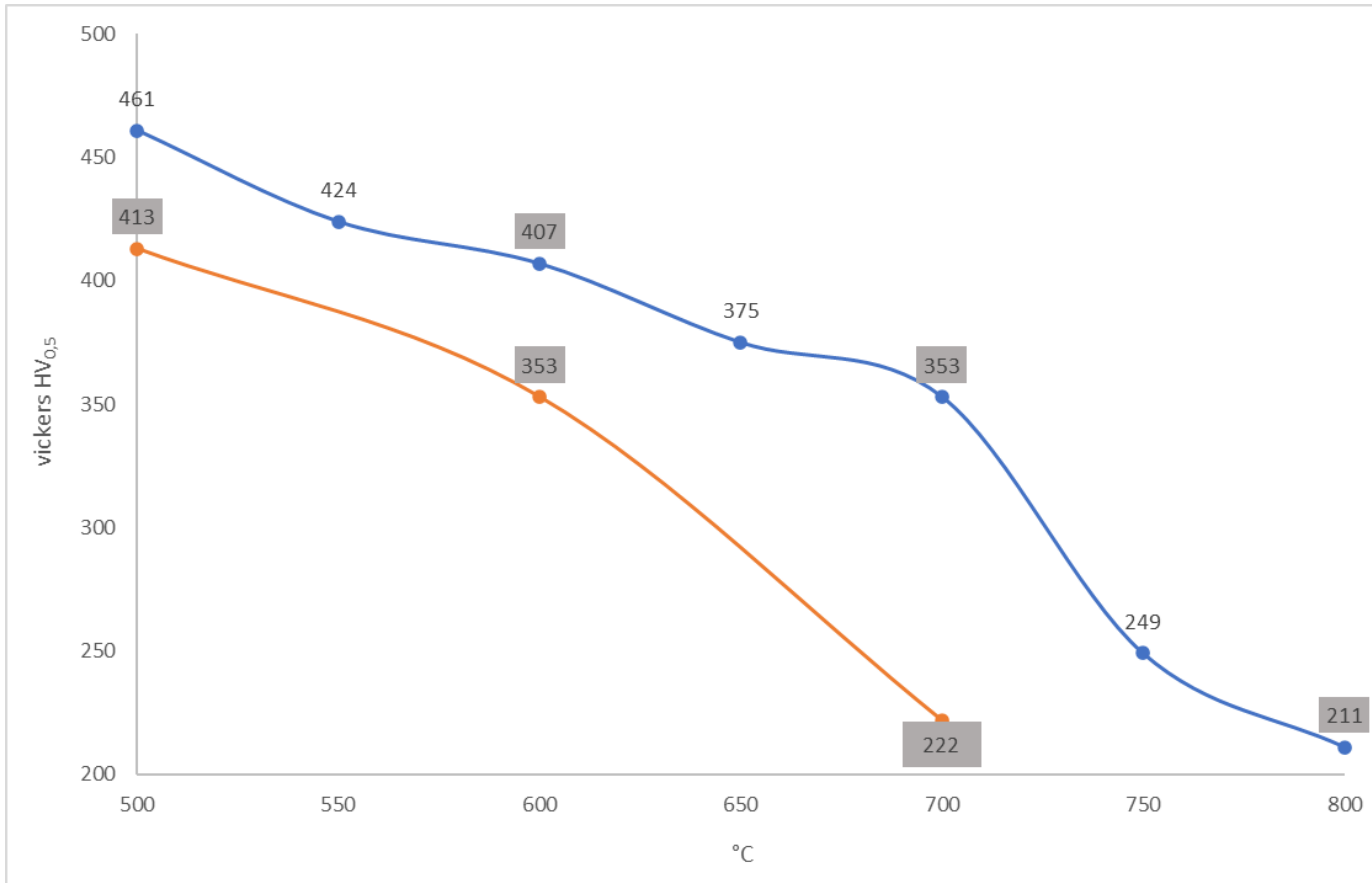
Con delle prove preliminari abbiamo trovato il valore della corrente continua che scalda il nostro campione fino alla temperatura desiderata.

500°C
corrente continua 38 A
600°C
Corrente continua 52A
700°C
Corrente continua 65A

applicando 0,07KN di carico
per assecondare le deformazioni
termiche in quanto in assenza di
carico il campione si piegava



20 min



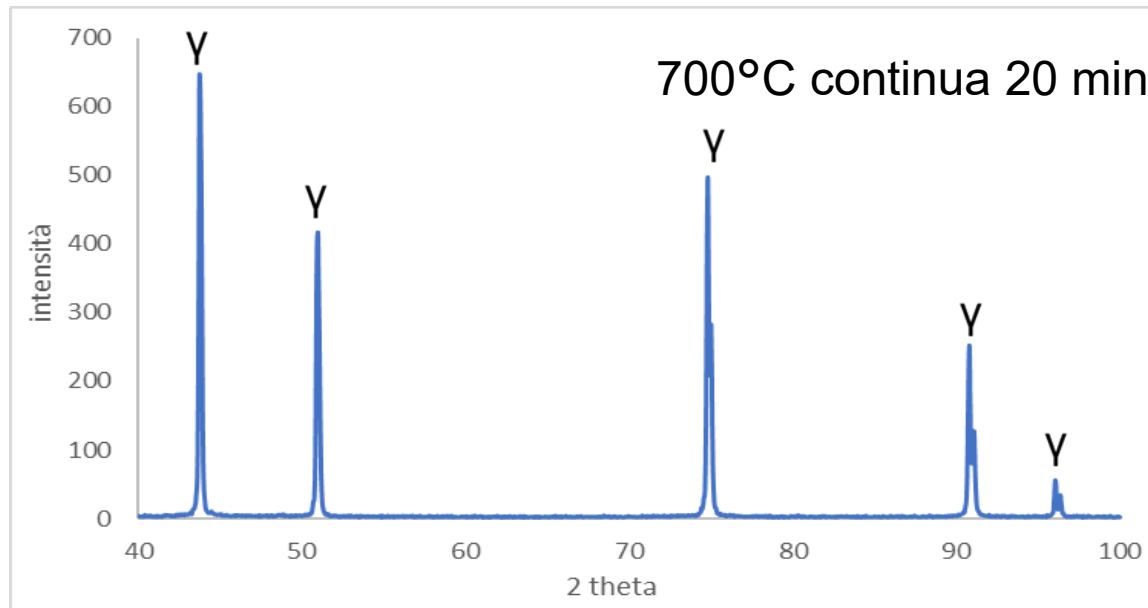
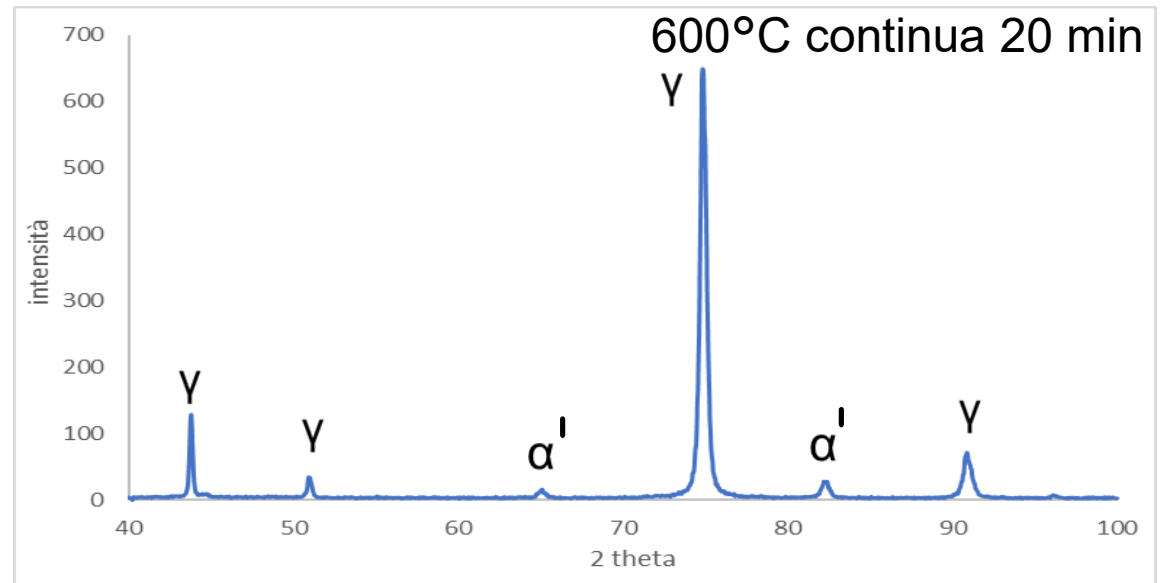
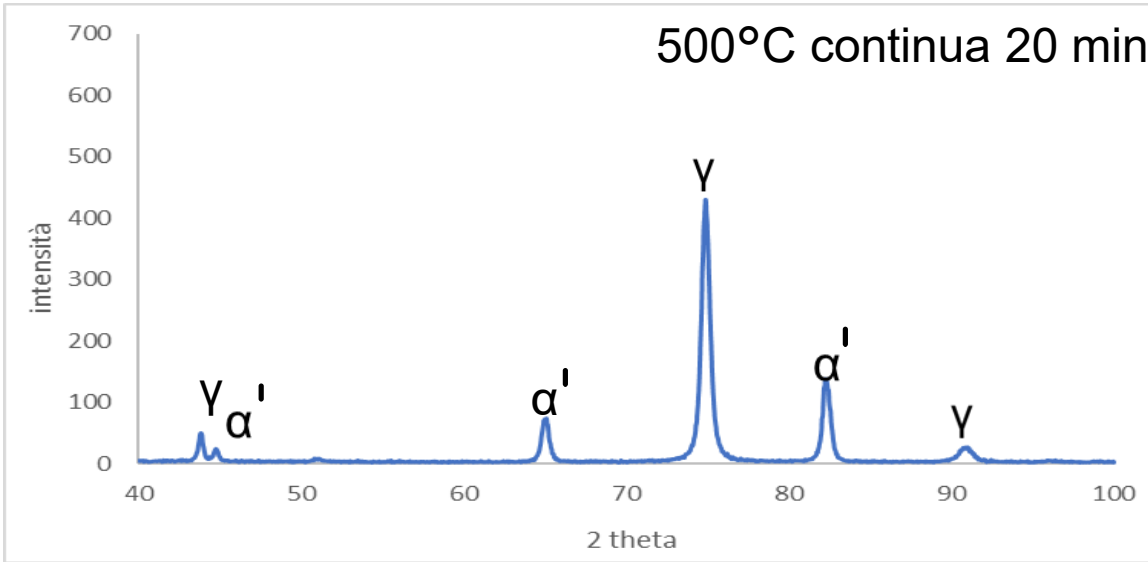
Confrontando i grafici
A parità di temperatura la curva di durezza ottenuta del trattamento termoelettrico è più bassa rispetto a quella del trattamento termico e il drastico calo che si ripete in entrambe le curve si è spostato a una temperatura di cento gradi minore, non avviene più a 700°C ma a 600 °C. Probabilmente la riconversione della martensite viene anticipata e questo viene confermato dalle xrd.

Trattamento termico

Trattamento elettrico in corrente continua

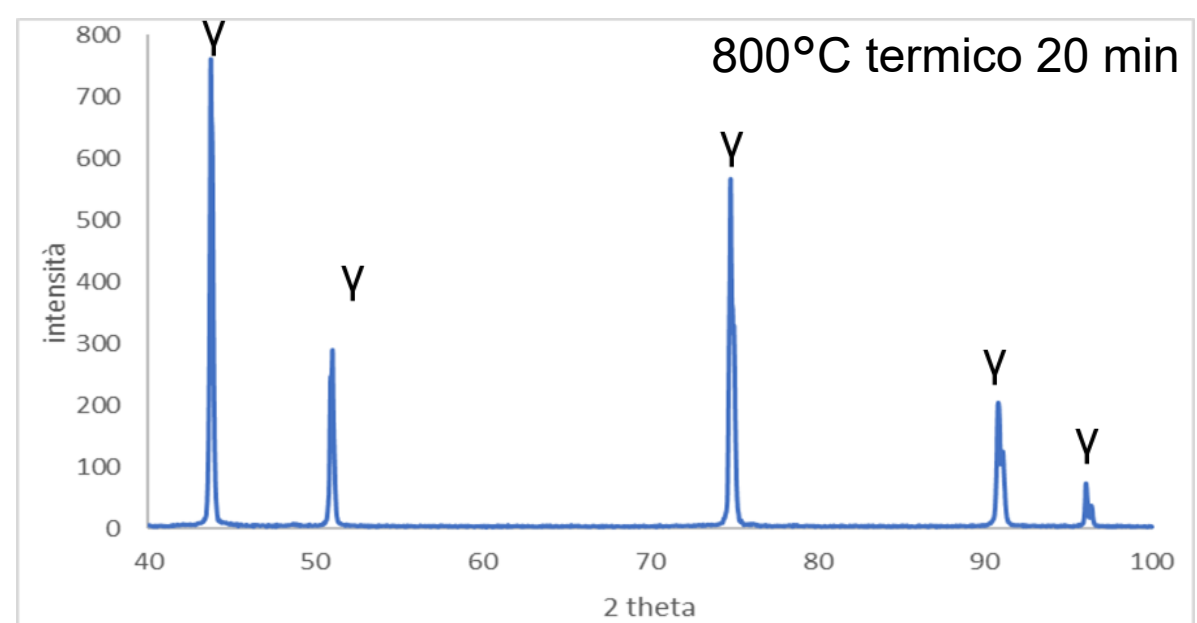
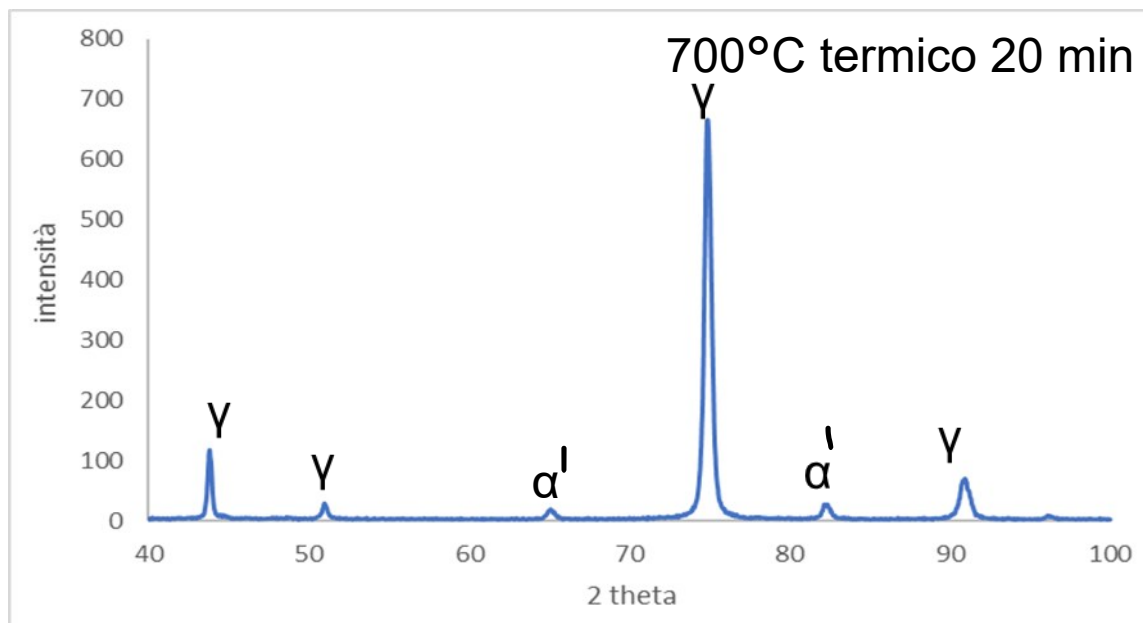
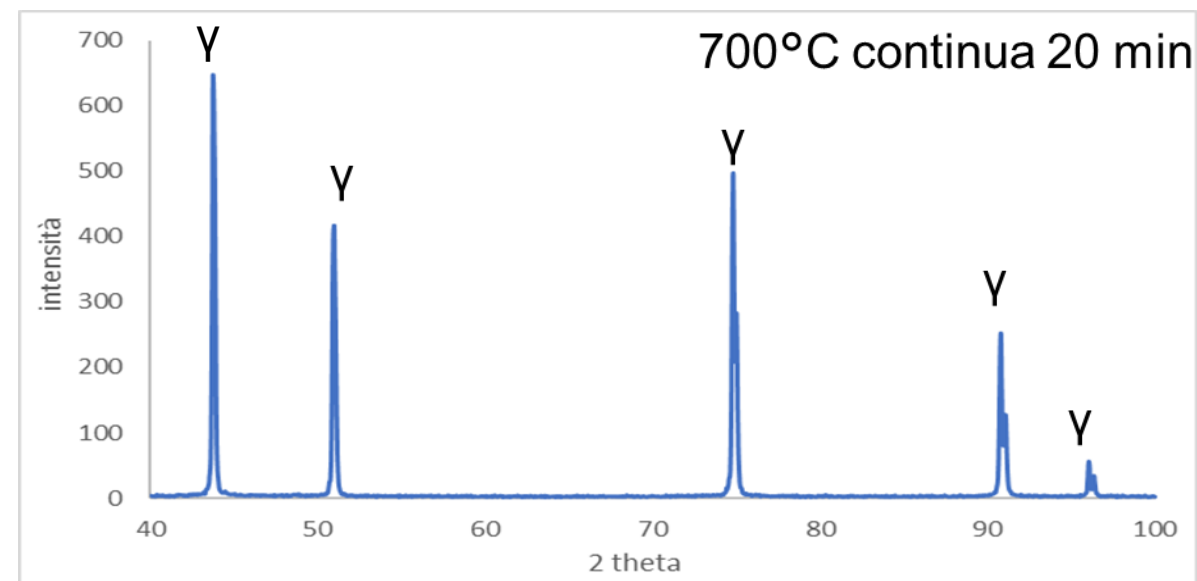
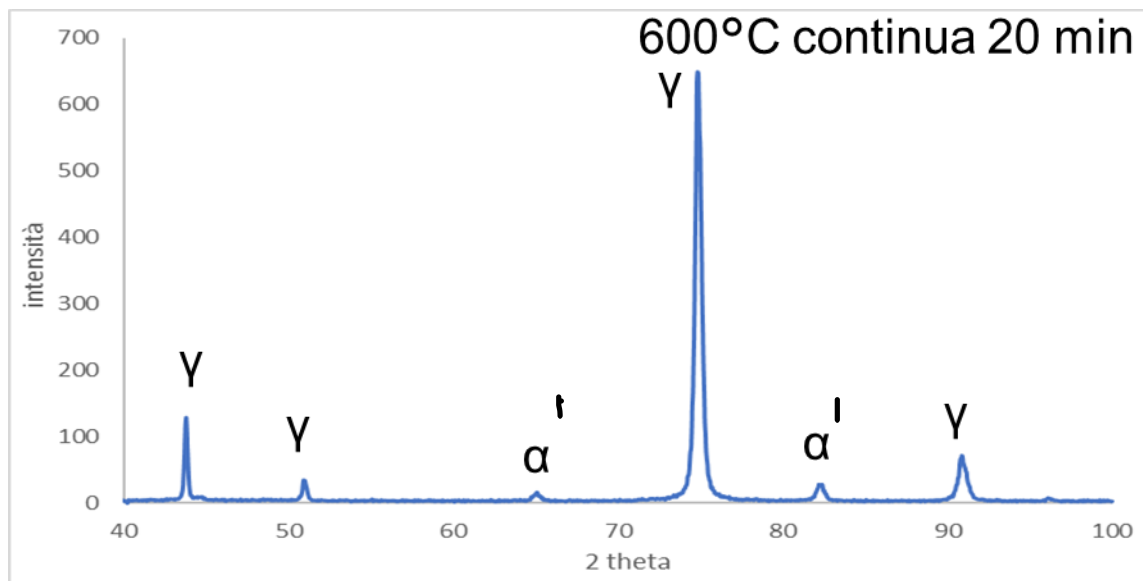


Confronto xrd corrente continua a diverse temperature



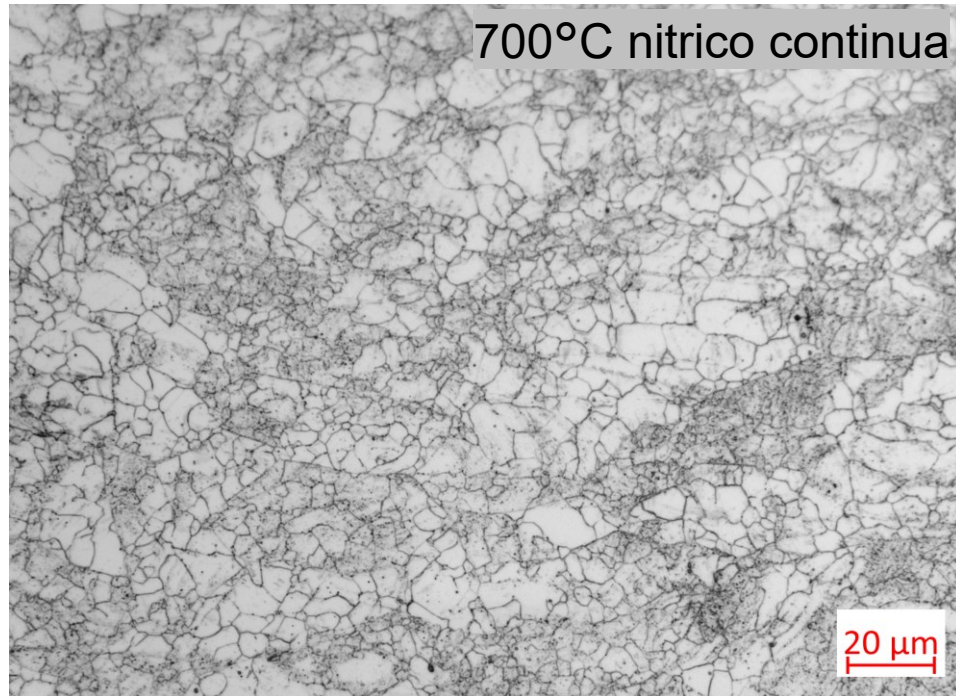
I picchi della martensite si abbassano di moltissimo a 600°C per poi sparire del tutto a 700°C. Nei trattamenti termici a 700 °C, invece, era ancora presente della martensite, che tendeva a riconvertirsi del tutto solo a 800°C.

Confronto xrd termo-elettrici e termici

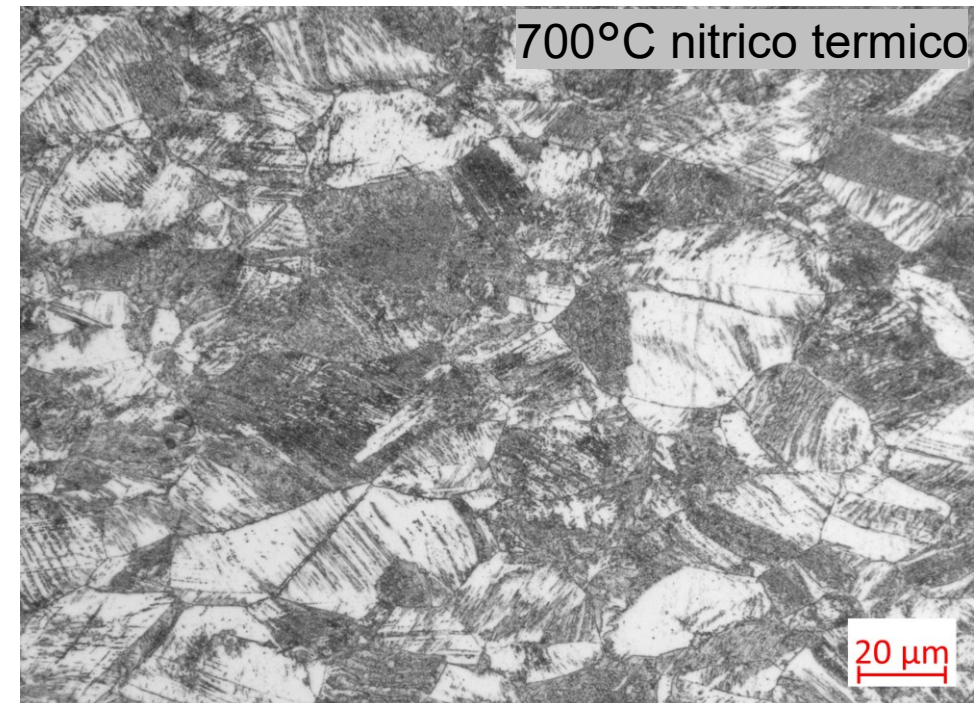


L'anticipazione della riconversione della martensite e della ricristallizzazione è evidente anche nella microstruttura

Struttura piena di grani in accrescimento



Struttura che presenta ancora della martensite e nessun accenno di ricristallizzazione



- Trattamenti termici e termo-elettrici tra le temperature di 500°C e 800°C hanno permesso una completa riconversione della martensite accompagnata da una diminuzione di durezza
- Nei trattamenti termo-elettrici la riconversione della martensite viene anticipata di 100°C. Questo effetto è risultato evidente nelle curve di durezza, nella microstruttura e nelle analisi xrd. Probabilmente la corrente elettrica riduce le barriere energetiche nei processi di trasformazione di fase e mobilita i difetti, velocizzando i meccanismi di nucleazione e quindi anticipando la formazione di domini ricristallizzati
- A fine riconversione si ottiene una microstruttura diversa da quella iniziale, ricristallizzata, quindi con grani piccoli e il materiale risulta più duro (211HV_{0,5} termico e 222HV_{0,5} termo-elettrico) rispetto a quello da cui siamo partiti (197HV_{0,5})