

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale



Tesi di Laurea Magistrale

Trading System e Reti Neurali

Relatore:

Prof. Franco Varetto

Candidato:

Chiara Iannelli

Anno Accademico 2020-2021

Indice

Introduzione	5
Capitolo 1 – Mercato e Analisi Tecnica	7
1. 1 Mercati finanziari	7
1.1.1 Efficienza dei mercati.....	9
1.2 Analisi tecnica	11
1.2.1 I presupposti dell’Analisi Tecnica	11
1.2.2 La teoria di Dow.....	12
1.2.3 Grafici.....	13
1.2.4 Trend.....	17
1.2.5 Indicatori e oscillatori tecnici più diffusi.....	19
Capitolo 2 – I trading system	29
2.1 Vantaggi e svantaggi dei trading system	30
2.1.1 Vantaggi	30
2.1.2 Limiti	31
2.2 Definizione della strategia – trading plan	33
2.3 Costruzione di una strategia	34
Training e testing.....	35
2.3.1 Caratteristiche di una strategia di trading	36
Capitolo 3 – Reti Neurali	38
3.1 Storia	40
3.2 Struttura di una rete neurale artificiale	41
3.2.1 Neurone artificiale	43
3.3 Caratteristiche delle reti neurali	45
3.3.1 Architettura di una rete	45

3.3.2 Apprendimento di una rete	46
3.3.3 Algoritmo di apprendimento	48
3.4 Applicazioni delle reti neurali artificiali	54
3.5 Vantaggi e limiti delle reti neurali	55
3.5.1 Vantaggi	55
3.5.2 Limiti	56
Capitolo 4 - Applicazione di un trading system.....	57
4.1 Introduzione	57
4.1.1 Eurostoxx50.....	57
4.2 Strategia di trading	60
4.2.2 Trading Plan.....	62
4.2.3 Applicazione della strategia.....	65
4.2.4 Altre possibili strategie.....	73
Capitolo 5 – Applicazione delle Reti Neurali in Matlab.....	77
5.1 Definizione della rete	77
5.1.1 Dataset.....	79
5.1.2 Addestramento.....	82
5.2 NARXNET	82
5.2.1 Train	83
5.2.2 Indicatori	84
5.2.3 Output.....	88
5.2.4 Trading system	90
5.2.5 Previsione su nuovi dati	91
5.3 Pattern recognition & classification net	93
5.3.1 Train	94

5.3.2 Indicatori	95
5.3.3 Output.....	97
5.3.4 Trading system	98
5.3.5 Previsione su nuovi dati	104
Conclusioni	107
Appendice	110
Codici Matlab	110
PATTERNET	110
NARXNET.....	111
DETTAGLI OPERAZIONI	112
Bibliografia	129
Sitografia	129

Introduzione

“Lo ha deciso l’algoritmo!”. Ormai viviamo in un mondo dove anche le nostre decisioni più semplici sono estremamente influenzate dalle macchine. Sanno cosa desideriamo, stabiliscono come viaggiare (si pensi al percorso calcolato da un navigatore satellitare ottenuto grazie ad un algoritmo creato su una mappa di memoria), ma soprattutto condizionano le nostre scelte. Infatti attraverso i *like* lasciati sui *social media* o in base alle ricerche su internet, le aziende raccolgono i dati con lo scopo di inserire le persone in una determinata categoria per fini commerciali per poi colpirle con offerte di prodotti vicini ai loro gusti. Gli algoritmi sono quindi strumenti molto potenti che influenzano e controllano la nostra vita.

Ma cos’è un algoritmo? Un algoritmo è un insieme di istruzioni che può essere applicato per eseguire un’elaborazione o risolvere un problema.

Lo studio di algoritmi innovativi è legato al settore dell’Intelligenza Artificiale, che coinvolge macchine computazionali in grado di eseguire compiti caratteristici dell’intelligenza umana. Un passo importante è stato infatti lo sviluppo di algoritmi in grado di imparare dai propri errori; questi sono fondamentali e consentono di operare in contesti in cui i programmatori non possono prevedere a priori tutte le possibilità operative.

Un sottoinsieme dell’Intelligenza Artificiale è il *Machine Learning* (o apprendimento automatico) che consiste in tecniche che permettono ai computer di comprendere la realtà dei dati.

Alcuni problemi però sono risultati troppo difficili da risolvere con le prime tecniche usate per l'Intelligenza Artificiale e quindi si è tentato non solo di imitare il comportamento dell'uomo, ma di simularne perfino il modo di apprendimento. Questo è stato reso possibile dallo sviluppo delle reti neurali artificiali, ossia modelli matematici costituiti da un numero elevato di processori elementari, interconnessi in parallelo, in modo da realizzare architetture a elevato grado di parallelismo, che assomigliano alla rete neurale cerebrale.

Negli ultimi anni queste reti sono state impiegate in svariate applicazioni scientifiche grazie alle loro proprietà che permettono di svolgere molteplici funzioni. Una rete neurale può infatti apprendere dai dati e classificarli, riconoscere i *pattern* e prevedere eventi futuri.

Questa tesi è finalizzata allo sviluppo di un *trading system* che possa elaborare i segnali operativi che derivano dall'Analisi Tecnica, traducendoli in azioni da compiere sul mercato, ed all'applicazione delle tecniche di *Machine Learning*, in particolare delle reti neurali artificiali.

L'elaborato fornirà quindi una connessione tra le tecniche di previsione classiche, basate sull'utilizzo degli indicatori dell'Analisi Tecnica, ed i sistemi di intelligenza artificiale a supporto dei processi decisionali nelle operazioni di *trading*.

Capitolo 1 – Mercato e Analisi Tecnica

1. 1 Mercati finanziari

I mercati sono i "luoghi" dove è possibile acquistare o vendere strumenti finanziari.

Ogni mercato assolve alle funzioni di trasferimento di risorse finanziarie e di rischi, formazione dei prezzi e delle informazioni su operatori e su strumenti finanziari, semplificazione degli scambi e riduzione dei costi di transazione.

L'analisi del movimento dei prezzi è alla base delle principali teorie legate allo studio dei mercati finanziari. Riguardo a questo si possono individuare tre diverse scuole di pensiero:

1. *Random walk theory*, secondo cui il movimento dei prezzi è casuale data l'efficienza dei mercati: tutte le informazioni sarebbero incorporate nel prezzo corrente degli *asset* e le quotazioni si aggiusterebbero immediatamente non appena vi fossero delle nuove informazioni.

Se dunque i prezzi riflettono tutte le informazioni disponibili, le loro variazioni dipendono solo da nuovi eventi non noti, imprevedibili e dunque casuali.

Per questo motivo, non è possibile fare previsioni accurate sui prezzi. Ciò significa che non esiste alcun operatore di mercato in grado di ottenere profitti particolarmente elevati dalla negoziazione di azioni o altri strumenti finanziari.

2. In contrapposizione alla teoria del *Random walk*, l'Analisi Tecnica esamina l'andamento dei mercati finanziari mediante lo studio delle serie storiche per determinare il momento migliore per entrare nel mercato ("*market timing*"). Secondo questa scuola di pensiero, l'osservazione costante del mercato fa emergere la presenza di determinati *pattern* capaci di influenzare le quotazioni degli *asset*; non tutti però funzionano con le stesse probabilità statistiche, così come la loro efficacia può variare nel tempo in base all'evoluzione del mercato.
3. La terza scuola di pensiero, l'Analisi Fondamentale, ha lo scopo di determinare il valore intrinseco (*fair value*) delle attività finanziarie per individuare quelle che appaiono sopravvalutate o sottovalutate dai prezzi espressi dal mercato. Le prime sono vendute, anticipando una probabile discesa dei prezzi, le seconde vengono acquistate, ipotizzando un possibile rialzo dei prezzi.

Il presupposto di partenza è che il prezzo espresso nella quotazione di borsa del titolo sia la conseguenza della percezione che il mercato ha del valore di una società e non il valore reale della società stessa; si basa quindi sullo studio e sulla previsione delle variabili economico-finanziarie che incidono sull'andamento dei mercati finanziari.

L'Analisi Fondamentale utilizza infatti numerose informazioni differenti, con particolare riferimento al modo con cui le società producono reddito e alle prospettive del settore in cui sono inserite.

1.1.1 Efficienza dei mercati

La teoria del '*Random walk*' è un modello finanziario che presuppone quindi che il mercato azionario si muova in modo completamente imprevedibile. L'ipotesi suggerisce che il prezzo futuro di ogni titolo sia indipendente dal proprio movimento storico e dal prezzo di altri *asset*.

Questa teoria si fonda sul concetto di efficienza dei mercati finanziari. Un mercato è definito efficiente se tutti gli investitori hanno le stesse informazioni e quindi i prezzi rispecchiano pienamente le informazioni disponibili. In base a questo presupposto la diffusione di notizie in grado di impattare sul valore dei titoli viene subito riflessa nei prezzi di mercato.

La *Random walk* non trascura però che il comportamento degli investitori, in seguito ad una nuova informazione, possa essere differente. Infatti potrebbero avere, in alcuni casi, una reazione esageratamente positiva o negativa, in altri una reazione inferiore rispetto all'importanza della notizia stessa. A questo riguardo Eugene Fama ha individuato tre diversi livelli di efficienza di mercati che riguardano le diverse tipologie di informazioni che i prezzi dovrebbero incorporare:

1. efficienza in forma debole: i prezzi osservati sul mercato riflettono tutta l'informazione contenuta nella serie storica dei prezzi passati

2. efficienza in forma semi-forte: si verifica quando i prezzi di mercato riflettono non solo l'informazione contenuta nella serie storica dei prezzi ma anche tutte le informazioni di pubblico dominio relative all'azienda che le emette
3. efficienza in forma forte: se i prezzi delle azioni riflettono tutte le informazioni disponibili, comprese quelle riservate (*insider information*).

L'efficienza dei mercati richiede la partecipazione di analisti preparati e ben informati in grado di valutare in maniera continua le notizie a disposizione su di un titolo; peraltro in un mercato completamente efficiente il valore marginale delle loro analisi sarebbe pari a zero.

Dopo un successo iniziale del concetto di efficienza dei mercati finanziari, si è in seguito iniziato a discutere sia sulle sue basi teoriche, che sulla sua evidenza empirica. Infatti:

- mentre le ipotesi di efficienza in forma debole e semi-forte sono più o meno confermate, nella realtà difficilmente si può affermare l'efficienza in forma forte a causa della negoziazione di titoli da parte dei manager stessi di una società (*insider trading*).
- i prezzi non seguono degli andamenti casuali visto che i loro movimenti generano dei *trend*, a volte alimentati dalle scelte irrazionali compiute dagli investitori.

Pertanto per implementare una razionale politica di *trading* è necessario ricorrere sia all'Analisi Fondamentale che a quella Tecnica: la prima per valutare l'*asset* in un'ottica di lungo periodo e la seconda per agire nel momento più redditizio.

In questo lavoro di tesi è stata applicata una strategia di investimento a breve termine e nella fase di formazione della rete neurale sono considerati solo gli indicatori dell'Analisi Tecnica.

1.2 Analisi tecnica

Le origini dell'Analisi Tecnica risiedono nella *Dow Theory*, un complesso di idee e principi riguardanti i meccanismi di mercato e il comportamento dei prezzi di un qualsiasi strumento finanziario, illustrata da Charles Dow.

Nonostante abbia più di 100 anni, questa teoria rimane il fondamento dell'Analisi Tecnica, che ha lo scopo di interpretare il mercato tramite lo studio dei dati di mercato disponibili di un titolo mediante numerosi strumenti di tipo grafico e quantitativo per prevederne l'andamento dei prezzi.

1.2.1 I presupposti dell'Analisi Tecnica

I presupposti di base dell'Analisi Tecnica sono tre:

1. il mercato sconta tutto: nei prezzi infatti sono incorporati fattori fondamentali, politici e psicologici. L'analista deve studiare come un prezzo si è formato e non se è troppo alto o basso. Nell'Analisi Tecnica è indispensabile avere un giudizio oggettivo.

2. l'analista tecnico ha come obiettivo quello di determinare le tendenze primarie presenti sul mercato. I prezzi infatti si muovono per *trend*. Questo può essere rialzista (*up-trend*) o ribassista (*down-trend*).
3. la storia si ripete: per comprendere il futuro è necessario analizzare il passato, poiché si pensa che quello che succederà nel prossimo futuro dipende da quello che è successo nel passato.

1.2.2 La teoria di Dow

Charles Dow è considerato il pioniere dell'Analisi Tecnica. Fu il titolare della società Dow Jones & Company con Edward Jones e nel 1884 introdusse il Dow Jones Industrial, indice azionario fondamentale della borsa di New York.

Dow scrisse e pubblicò sul Wall Street Journal, fondato da lui e E. Jones nel luglio del 1889, molti articoli contenenti le sue teorie sul mercato finanziario. Questi articoli, collezionati e rielaborati da Robert Rhea nel libro "Dow Theory", e rappresentano ancora oggi le basi dell'Analisi Tecnica.

La Teoria di Dow è strutturata in 6 principi sui trend e sulle caratteristiche del mercato:

1. gli indici di borsa scontano tutto poiché assorbono ogni fattore riguardante la domanda e l'offerta
2. il mercato ha un *trend* primario, che può essere rialzista o ribassista e riflette l'andamento e le evoluzioni del mercato, un *trend* secondario (o intermedio)

che costituisce una correzione della tendenza primaria, ed un *trend* minore che rappresenta le fluttuazioni di breve periodo

3. il *trend* primario ha a sua volta tre fasi: la fase di accumulazione in cui agiscono i *trader* più esperti e informati; la fase di partecipazione dei *trend follower*, quindi i *trader* prendono posizione e di conseguenza i prezzi salgono con decisione; la terza fase è detta di distribuzione e si verifica quando le notizie societarie diventano sempre più positive e anche i piccoli investitori entrano sul mercato. In quest'ultima fase gli investitori più accorti, generalmente quelli dell'accumulo, cominciano a distribuire i titoli che avevano accumulato.
4. Gli indici devono confermarsi a vicenda. Occorre quindi che il *trend* di un settore sia confermato anche dall'andamento dei settori a lui collegati.
5. I *trend* devono essere confermati dal volume e quindi anche il volume deve espandersi nella direzione del *trend* primario.
6. I *trend* sono in atto fino a quando non compaiono dei segnali definitivi di inversione di tendenza: brevi periodi di movimenti in controtendenza non costituiscono un'inversione di rotta del mercato salvo un persistere degli stessi.

Di seguito sono riassunti alcuni tra i principali strumenti dell'Analisi Tecnica.

1.2.3 Grafici

L'analisi grafica consente di visualizzare l'andamento del prezzo di un titolo.

Esistono vari tipi di grafici, quelli maggiormente utilizzati sono: i grafici lineari (*Linear Chart*), i grafici a barre (*Bar Chart*) e i grafici a candele (o "*Candlestick*").

Grafico lineare

Il grafico lineare unisce con una linea i prezzi, generalmente quelli di chiusura, dell'attività finanziaria oggetto di analisi, rilevati in momenti successivi (Fig.1.1). Fornisce dunque una visione di insieme del movimento delle quotazioni nel tempo e consente di individuare facilmente la tendenza primaria seguita dai prezzi.

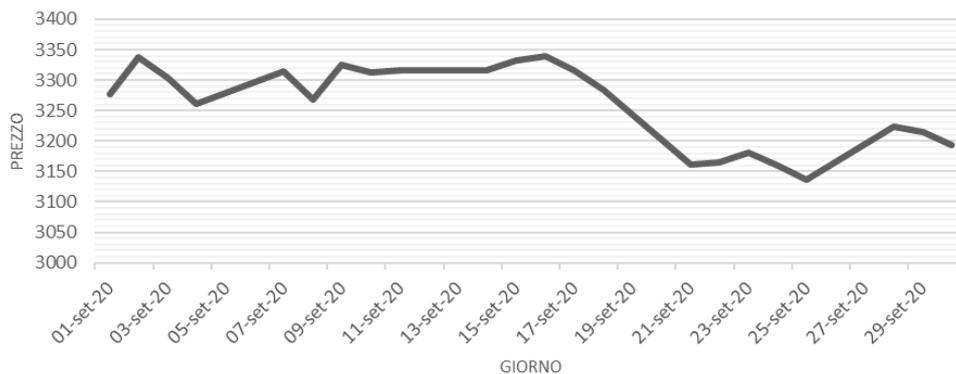


Fig.1.1 Grafico Lineare

Questo tipo di grafico è utilizzato soprattutto per analizzare i movimenti di lungo termine in quanto, mostrando solo un valore per ciascuna giornata di contrattazione, non dà modo di comprendere come si è sviluppata ogni singola seduta borsistica né di conoscere a che livello di prezzo si sono avute le inversioni di tendenza.

Grafico a barre

Il grafico a barre (Fig. 1.2) permette di rappresentare i movimenti giornalieri attraverso una barra verticale che unisce il prezzo massimo e quello minimo, la linea orizzontale a sinistra rappresenta il prezzo di apertura e il segmento a destra quello di chiusura.

Questo tipo di grafico consente di individuare il grado di “nervosismo” della seduta di Borsa, evidenziando l’ampiezza dell’escursione di prezzo tra massimo e minimo, permette di individuare facilmente i punti di inversione della tendenza dei prezzi e di capire con quale intensità si è sviluppata. Per questo motivo il *bar chart* è adatto ad analizzare i movimenti di medio/breve termine.

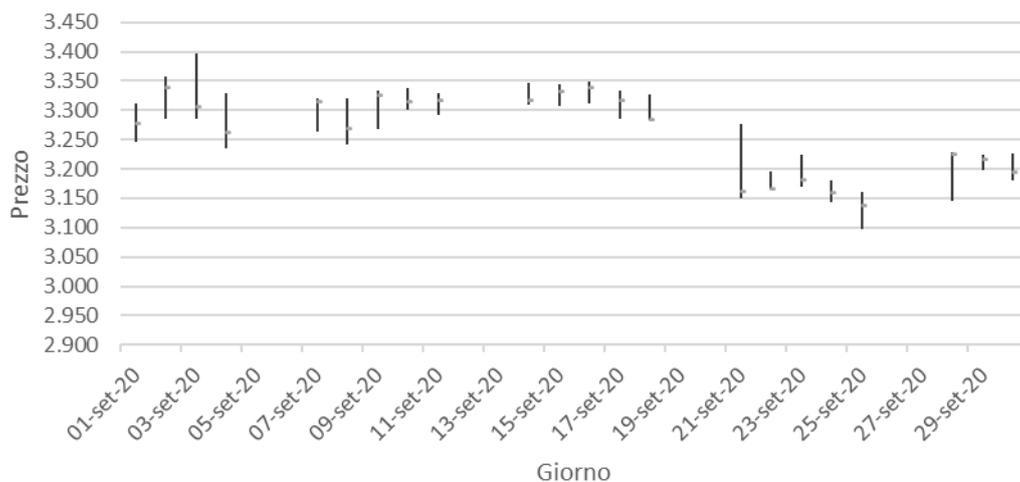


Fig.1.2 Grafico a barre

Il *time frame* oggetto di analisi può essere giornaliero, settimanale, mensile, trimestrale o *intraday*.

Grafico a candele giapponesi o “candlestick”

Una candela è formata da un corpo centrale “*real body*”, che indica la distanza tra il prezzo di apertura e di chiusura, e può essere bianco, se il prezzo di chiusura è superiore a quello di apertura (seduta rialzista), o nero, se il prezzo di chiusura è inferiore a quello di apertura (seduta ribassista), e da due ombre (*shadow*) ossia

due linee che individuano il prezzo minimo e massimo registrati nel periodo scelto (Fig.1.3).

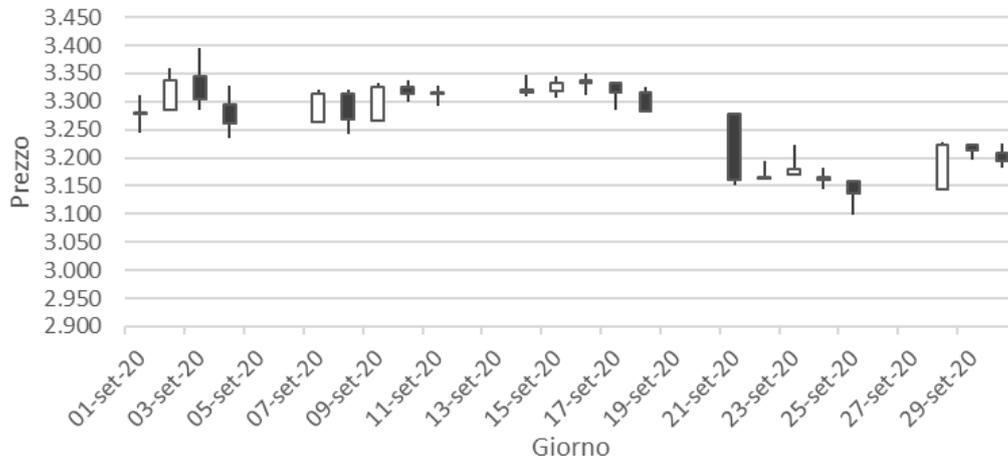


Fig.1.3 Grafico Candlestick

La metodologia *candlestick* pone maggiore risalto alla differenza tra il prezzo di apertura e quello di chiusura della seduta. Le candele con lunghi corpi (*Long line*) rappresentano sedute direzionali, mentre ombre con lunghezza maggiore del *real body* mostrano giornate in cui si è sviluppata una forte battaglia tra compratori e venditori; le figure *Short Line*, con una differenza minima tra il prezzo di apertura e quello di chiusura e con le due *shadow* di lunghezza ridotta, indicano zone di indecisione e attesa.

Il grafico a candele è utilizzato soprattutto per analisi di breve termine. Infatti l'analisi di una singola candela o la combinazione di due o tre candele consecutive permette di osservare l'andamento del mercato. Si possono evidenziare quattro configurazioni grafiche interessanti:

1. *Hammer*: questa figura, caratterizzata da una lunga *lower shadow* e da un *real body* corto (bianco o nero), è solita alla fine di un movimento ribassista. È importante che la lunghezza dell'ombra sia il doppio rispetto al corpo della candela
2. *Shooting Star*: questa candela si verifica alla fine di un *trend* rialzista. È contraddistinta da una lunga *upper shadow* ed un corpo di piccole dimensioni (bianco o nero). Anche in questo caso è necessario che la lunghezza dell'ombra sia il doppio rispetto al *real-body*
3. *Bullish Engulfing*: questa configurazione è costituita da una candela *Short Black* e una *Long White*, in più il *real body* di quest'ultima deve delimitare il corpo dell'altra in modo tale che l'apertura della seconda candela sia inferiore alla chiusura della prima e che la chiusura della seconda sia superiore all'apertura della *Short Black*. La *Bullish Engulfing* segnala un inizio di *trend* rialzista.
4. *Bearish Engulfing*: è formata da una piccola candela bianca seguita da una lunga candela nera. È necessario che il corpo della *Short White* sia contenuto nel *real-body* della *Long Black* per indicare un possibile ribasso dei prezzi.

1.2.4 Trend

Un *trend* indica la tendenza del movimento dei prezzi e può essere:

- rialzista (*up trend*): se ha disegnato massimi e minimi crescenti. Questo *trend* si esaurisce quando i prezzi non sono capaci di segnare massimi

superiori. Un segnale di inversione di tendenza può essere fornito se i prezzi disegnano un massimo e un minimo inferiori rispetto ai massimi e minimi precedenti

- ribassista (*down trend*): se i massimi e minimi sono decrescenti. Questo *trend* termina quando i prezzi non sono più in grado di segnare minimi inferiori. Un segnale di inversione rialzista si ha se i prezzi delineano un massimo e un minimo superiori rispetto a quelli passati
- laterale (*sideway trend*): i prezzi oscillano all'interno di una banda orizzontale con massimi e minimi sostanzialmente coincidenti.

Trendline (Linea di tendenza)

Una *trendline* è una linea retta che unisce due (o più) minimi o due (o più) massimi. Per disegnarla sono necessari due punti, ma per confermare la validità e l'importanza deve essere testata una terza volta. Una linea di tendenza rialzista si ottiene unendo i minimi crescenti; la *trendline* ribassista viene tracciata intercettando i massimi decrescenti disegnati dai prezzi.

Tracciare la linea di tendenza ha la funzione principale di individuare la direzione del mercato ed è utile per determinare il segnale di entrata e di uscita da una posizione. Tuttavia può capitare che ci siano delle uscite temporanee dei prezzi dalla *trendline* e quindi un modo per mitigare i falsi segnali potrebbe essere quello di attendere due o tre chiusure oltre la linea prima di prendere decisioni operative, confidando che non ci sia una brusca accelerazione delle quotazioni.

Le *trendline* costituiscono inoltre importanti livelli di supporto e di resistenza:

- un supporto è un livello di prezzo che può arrestare la discesa dei prezzi e può essere statico, se è un valore fisso, o dinamico, se il suo valore cambia con il tempo. La *trendline* di un andamento rialzista costituisce un supporto dinamico; in un movimento laterale la *trendline*, che unisce i minimi, è orizzontale e costituisce un supporto statico.
- una resistenza è un livello di prezzo che può fermare la salita dei prezzi. Anche la resistenza può essere statica, se il suo valore non cambia nel tempo, o dinamica.

In un *trend* ribassista la *trendline* diventa una resistenza dinamica; in una tendenza laterale costituisce una resistenza statica.

Una *trendline* e la sua parallela (*return line*) costituiscono infine un canale di tendenza all'interno del quale i prezzi oscillano. La *return line* rappresenta una sorta di barriera dove è probabile aspettarsi un andamento inverso delle quotazioni, che piegano per riavvicinarsi alla *trendline*. La rottura di questa linea provoca spesso un'accelerazione del movimento che si sta sviluppando.

1.2.5 Indicatori e oscillatori tecnici più diffusi

Trader e analisti analizzano l'andamento dei prezzi non solo dal punto di vista grafico ma anche con opportuni oscillatori ed indicatori tecnici. Questi ultimi permettono di individuare uno specifico *trend* in atto, zone di ipercomprato e ipervenduto, ed eventuali divergenze di comportamento con l'andamento dei prezzi fornendo segnali di entrata e di uscita dal mercato.

Di seguito sono riportati i principali indicatori e oscillatori dell'Analisi Tecnica.

Medie mobili

Una media mobile è un filtro dei prezzi; è uno strumento utilizzato per individuare il *trend* primario, depurandolo dalle distorsioni di brevissimo periodo ed è calcolato tipicamente sui prezzi di chiusura.

Di solito, come si osserva nel grafico sottostante (*Fig.1.4*), per cogliere una tendenza di breve termine la media è calcolata considerando un arco temporale di 5 periodi; per un *trend* di medio termine viene adoperata la media a 20 periodi; e viene infine utilizzato un orizzonte di 50-200 periodi per catturare l'andamento di medio/lungo termine. Nella scelta dell'arco temporale si deve tenere conto che periodi troppo brevi possono portare a falsi segnali operativi, mentre periodi troppo ampi possono fornire segnali ritardati.

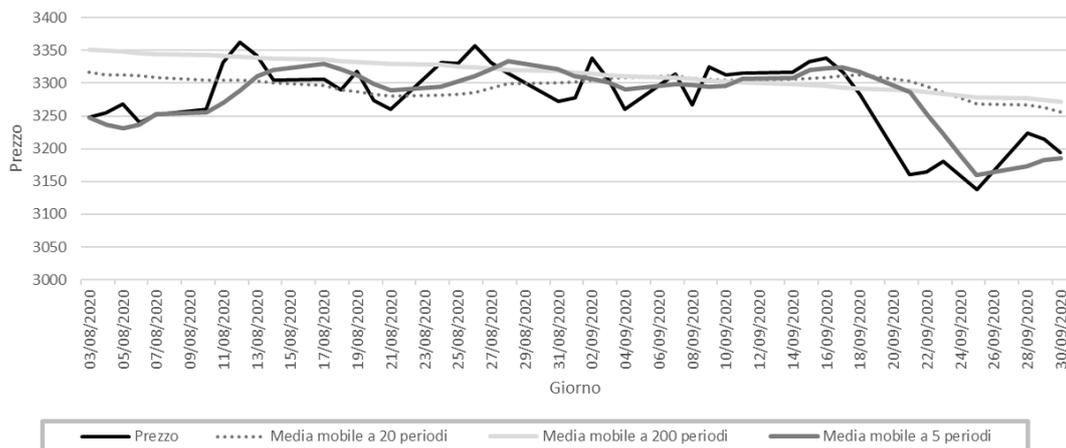


Fig.1.4 Medie mobili semplici

Le medie mobili possono fornire dunque avvisi utili a prendere decisioni operative.

Un primo modo è quello di confrontare la media mobile con i suoi valori

precedenti. L'inclinazione della media mobile indica la forza con cui si sta sviluppando un *trend*; se la media mobile si appiattisce, significa che il mercato si trova in una fase di congestione; se invece cambia direzione, segnala un'inversione di tendenza.

Un altro metodo frequentemente utilizzato è il confronto tra medie mobili con caratteristiche diverse. Se la media più veloce si trova sopra la media più lenta il *trend* è rialzista, viceversa il trend è ribassista. Inoltre se le due medie si allontanano i prezzi stanno subendo un'accelerazione, se si avvicinano il mercato è in una fase di congestione. Un incrocio (*crossover*) delle due medie fornisce interessanti segnali di inversione di tendenza.

Con media mobile "veloce" si intende quella che individua il comportamento dei prezzi su un orizzonte di breve periodo. Questa segue i prezzi molto più da vicino rispetto alla media "lenta", che scorre più discosta dal prezzo, e ne consegue che risenta maggiormente di falsi segnali. La scelta della media mobile è un compromesso quindi tra il grado di reattività e di filtro della media.

L'ultimo metodo diffuso è il confronto della media mobile con i prezzi di mercato. Una media mobile scorre al di sopra o al di sotto dei prezzi a seconda che la tendenza sia rispettivamente ribassista o rialzista.

Le tre tipologie di medie mobili più diffuse sono descritte di seguito.

- Media mobile semplice *SMA Simple Moving Average*

La media mobile semplice è la media aritmetica di una serie di prezzi all'interno di un determinato periodo.

$$SMA_t = \frac{P_t + P_{t-1} + P_{t-2} \dots + P_{t-(n+1)}}{n}$$

- Media mobile ponderata

Questa tipologia attribuisce maggior rilievo ai prezzi più recenti attribuendo una maggiore ponderazione a questi valori rispetto a quelli più lontani nel tempo.

- Media mobile esponenziale *EMA Exponential Moving Average*

La media mobile esponenziale è una media dei prezzi che attribuisce ancora più importanza ai valori più recenti, tramite un coefficiente moltiplicativo cm legato alla lunghezza della media, per legare l'andamento della media ai movimenti di breve termine compiuti dai mercati.

$$cm = \frac{2}{n + 1}$$

$$EMA_t = EMA_{t-1} + cm \times (C - EMA_{t-1})$$

dove n è il numero di periodi considerati, EMA_{t-1} il valore della media mobile esponenziale al periodo precedente e C l'ultimo prezzo di chiusura.

Momentum

Il Momentum M_t permette di individuare in anticipo possibili inversioni di tendenza, dato che misura la velocità con cui variano i prezzi. È ottenuto dalla

differenza tra l'ultimo prezzo di chiusura P_t e il prezzo di chiusura di un periodo precedente P_{t-n} :

$$M_t = P_t - P_{t-n}$$

L'indicatore può assumere sia valori positivi (nel caso in cui il prezzo odierno sia superiore al prezzo passato) sia valori negativi (nel caso in cui il prezzo odierno sia inferiore al prezzo passato). Se il valore passa da negativo a positivo, si genera perciò un segnale rialzista; se da positivo diventa negativo viene dato un segnale ribassista.

Una variante del *Momentum* è il *Rate of Change* (ROC) la cui formula è:

$$ROC = [(P_t - P_{t-n})/P_{t-n}] \times 100$$

Il *Momentum* e il *Rate of Change* seguono con diligenza lo sviluppo delle fasi direzionali e forniscono un campanello di allarme per le inversioni di tendenza: se dopo una fase di *trend* dei prezzi si osserva l'indicatore invertire la direzione, e non essere perciò più concorde con l'andamento dei prezzi, viene fornito un segnale di probabile cambio di tendenza.

Lo Stochastic Oscillator

Lo stocastico è un oscillatore, codificato da George Lane, il cui valore dipende dal valore di chiusura più recente rispetto ad un massimo e ad un minimo dei prezzi all'interno dell'arco temporale considerato. L'uso è ottimale in situazioni di mercato laterali e sul breve termine.

L'oscillatore stocastico è composto da due linee la linea %K (*fast line*), più sensibile alle variazioni di prezzo, ed una linea tratteggiata detta linea %D (*slow line*) con la quale vengono generati i segnali di vendita e acquisto.

Esistono tre versioni dello stocastico: lo stocastico veloce (*Fast Stochastic*), che rappresenta la formula originale di Lane nel quale la linea %K relaziona i prezzi di chiusura C all'intervallo di prezzi che lo separa tra il massimo H_n e il minimo L_n toccati in un determinato periodo di tempo n (che può essere di 5 o 14 giorni), mentre la linea %D è semplicemente la media mobile a 3 periodi della linea %K.

$$\%K = 100 \times \frac{C - L_n}{H_n - L_n}$$

$$\%D = SMA_3(\%K)$$

Questa tipologia ha il difetto di essere però troppo reattiva. Esiste quindi una versione più "lenta" dello stocastico (*Slow Stochastic*) il cui andamento è più lineare, meno nervoso. In questa variante, la linea %K è omessa e viene sostituita da %D. La nuova linea %D_s è disegnata come media mobile a 3 periodi della nuova linea %K.

$$\%D(= \%K_s) = SMA_3(\%K)$$

$$\%D_s = SMA_3(\%K_s)$$

Lo stocastico completo (*Full*) è invece una variante personalizzabile dello stocastico lento. In quest'ultima versione, più utilizzata dalla maggior parte dei

trader, si impostano il numero di periodi (di %K e di %D) da prendere in considerazione.

%K e %D oscillando all'interno di un range che va da 0 a 100%. Questo oscillatore identifica le zone di ipercomprato e ipervenduto; queste forniscono ai *trader* i segnali di entrata e di uscita su un particolare strumento finanziario. Valori di %K superiori a 80 indicano una situazione di ipercomprato e segnalano dunque una prossima inversione ribassista; valori inferiori a 20 indicano una fase di ipervenduto, ossia una situazione che presto potrebbe dar luogo ad un'inversione rialzista.

Lo stocastico è utilizzato per fornire segnali rialzisti e ribassisti generati dagli incroci delle due linee. Un avviso di acquisto viene generato nel momento in cui %K taglia dal basso verso l'alto %D partendo dall'area di ipervenduto; si ha un segnale di vendita se %K incrocia dall'alto verso il basso %D nell'area di ipercomprato.

Lo stocastico è considerato un oscillatore anticipatore ed è solitamente utilizzato dai *trader* che operano su orizzonti temporali di breve periodo in quanto è assai reattivo nel fornire valide indicazioni operative. Spesso è impiegato in abbinamento con l'indicatore l'RSI, al fine di ricevere segnali operativi maggiormente affidabili.

Relative Strength Index RSI

L'RSI è un oscillatore ideato da Welles Wilder e misura la forza relativa delle chiusure rialziste rispetto a quelle ribassiste che si è verificata nel corso di un certo arco temporale.

$$RSI = 100 - \frac{100}{1 + RS}$$

RS è il rapporto tra la media delle chiusure al rialzo e la media delle chiusure al ribasso degli ultimi n giorni. L'RSI oscilla in un *range* tra 0 e 100 ed è di solito calcolato a 14 giorni. L'arco temporale impiegato è inferiore a 14 giorni quando i prezzi hanno un andamento laterale e l'oscillatore diventa molto reattivo, è superiore se i prezzi sono all'interno di un *trend*.

L'utilizzo di questo oscillatore consta nell'individuare nei prezzi una condizione per comprare o vendere a seconda che l'RSI stia per uscire rispettivamente dalla zona di ipervenduto (compresa tra 0 e 30) e da quella di ipercomprato (tra 70 e 100).

Moving Average Convergence-Divergence MACD

Il MACD è un indicatore *trend following*, in quanto, come risulta dal nome, è costruito con delle medie mobili ed è in grado perciò di seguire lo sviluppo di fasi direzionali presenti sul mercato.

Questo indicatore è formato da due linee:

- *Differential Line*: costruita attraverso la differenza tra una media mobile esponenziale a 12 periodi e una di dominio 26

- *Signal Line*: costituita da una media mobile esponenziale di ampiezza 9 calcolata sui dati della *Differential Line*.

Trader e analisti individuano il *trend* primario dei prezzi osservando l'andamento del MACD: se la *Differential Line* (media più veloce) si trova sotto la *Signal Line* (media più lenta) il trend è ribassista; viceversa il *trend* è rialzista.

Lo studio di queste linee permette di individuare anche indicazioni operative: se la *Differential Line* incrocia dal basso verso l'alto la *Signal Line*, il MACD fornisce un segnale rialzista; se l'incrocio avviene dall'alto verso il basso allora l'indicatore fornisce un segnale ribassista.

Un altro utilizzo molto comune ed efficace di questo indicatore è nel rilevare le divergenze con i prezzi.

Per divergenza si intende il differente andamento dell'indicatore rispetto ai prezzi e si ha nel momento in cui il mercato fa registrare nuovi massimi mentre ciò non accade sull'indicatore e viceversa per quanto concerne i minimi.

Per individuare le divergenze il MACD può essere visto sotto forma di istogramma, che individua la distanza tra la *Differential Line* e la *Signal Line*:

- se la *Differential Line* si trova sotto la *Signal Line* il trend è ribassista e per confermare la discesa dei prezzi l'istogramma deve avere valori decrescenti. Si ha una divergenza positiva se i prezzi disegnano minimi decrescenti associati a valori crescenti dell'istogramma

- se la *Differential Line* si trova sopra la *Signal Line* il trend è rialzista e per provare la salita dei prezzi l'istogramma deve avere valori crescenti. Si ha una divergenza negativa se i prezzi disegnano nuovi massimi associati a valori decrescenti dell'istogramma.

Capitolo 2 – I trading system

Il *trading* negli ultimi anni ha subito molti cambiamenti ed è in continua evoluzione. Hardware e software possono ora elaborare miliardi di dati al secondo e questo ha quindi generato il *trading* ad alta frequenza.

Nei mercati gli esseri umani “scambiano” quindi sempre meno e la loro funzione è principalmente l’allocazione della liquidità, piuttosto che la decisione del “giusto” prezzo di un’attività finanziaria.

Le funzioni cerebrali e umane hanno un ruolo decisivo nel *software* di programmazione per decidere le strategie, ma la parte tattica è di competenza del computer. Dopotutto, come ha scritto E. Malverti nel libro *I Segreti dei Trading System* “le macchine sono oggetti stupidi, che nelle mani di persone intelligenti possono veramente fare la differenza, senza emozioni e senza stanchezza”.

Un *trader* viene infatti sovente influenzato dalla sua emotività nelle operazioni finanziarie, spesso anche in maniera negativa, perché può portare a prendere decisioni errate come ad esempio a non rispettare gli *stop-loss* e a chiudere erroneamente posizioni su cui sta ottenendo profitti. L’emotività nelle sue condizioni estreme quali l’euforia e la paura, sono in grado di impedire uno stato mentale neutro, condizione che il *trader* dovrebbe avere ogni giorno nella sua operatività.

Il *trading* suscita quindi enormi emozioni che possono essere ben gestite e controllate con l’aiuto di un *trading system*.

Un *trading system* è infatti un insieme di regole che analizzano in modo sistematico l'andamento del mercato e forniscono in modo automatico segnali di acquisto e/o vendita.

Il loro utilizzo ha preso il sopravvento a partire dal 2008, ma già negli anni Novanta, negli Stati Uniti iniziò a propagarsi l'utilizzo di strategia di *trading* codificate in un software capace di decidere quando comprare o vendere in Borsa.

2.1 Vantaggi e svantaggi dei trading system

2.1.1 Vantaggi

La possibilità di verificare una strategia di *trading* sulle serie storiche di qualsiasi strumento finanziario, preliminarmente all'impiego di denaro reale, costituisce il vantaggio principale. Ciò consente di analizzare statisticamente la validità di una determinata strategia e di avere una dimensione della rischiosità delle operazioni perché si possono effettuare simulazioni su quali potranno essere i massimi livelli di rischio del portafoglio e definire dei limiti operativi utili a stabilire quando interrompere le contrattazioni e quindi chiudere una posizione. Questo è possibile grazie alla velocità di elaborare informazioni dei *trading system* impensabile per l'essere umano.

La verifica di una strategia avviene con una procedura di *backtesting*, ossia simulazione delle operazioni che la strategia in esame avrebbe generato su dati storici. Usando questo strumento in modo appropriato, si possono migliorare le strategie e eliminare quelle che non offrono buone prospettive.

Un'altra caratteristica notevole di un sistema di *trading* è che le strategie possono essere automatizzate. In questo modo il segnale prodotto dal sistema può essere trasmesso al *broker* in modo automatico, eliminando, anche se non completamente, l'influenza della componente psicologica dell'operatore.

Un altro vantaggio di un *trading system* è poter fissare i parametri di rischio che consentono di adottare buone tecniche di *Money Management* compatibili con la propensione al rischio di ciascun *trader*.

2.1.2 Limiti

Lo svantaggio principale dei *trading system* è che non possono funzionare in ogni condizione di mercato. Può capitare che un sistema di *trading*, anche se codificato correttamente e privo di errori, possa generare una serie di perdite, poiché inserito in un contesto di mercato che non favorisce l'operatività su cui è stato progettato. Ad esempio un *trading system* di tipo *trend-following*, costruito perciò per generare profitti durante una tendenza (rialzista o ribassista), non è allo stesso modo profittevole in condizioni di mercato laterale, dove può fornire falsi segnali e conseguentemente operazioni perdenti.

Un ostacolo che non si risolve con il *trading* algoritmico è la decadenza dell'efficacia di una strategia a causa del mutamento della serie storica di uno o più mercati. È possibile che con il tempo un sistema di *trading* automatico inizi a peggiorare e a non essere più in linea con le statistiche. Questo accade perché i mercati evolvono e strategie anche affermate possono avvicinarsi al massimo storico e superarlo.

Può capitare inoltre che una strategia di *trading* a volte produca ottimi risultati nella serie storica passata e poi generi perdite quando viene utilizzato nel *trading* reale. Questo può essere causato da diversi fattori e spesso si tratta di un problema di *overfitting*, cioè un eccessivo adattamento dei parametri utilizzati dal sistema all'andamento storico del mercato. Per ovviare a questo problema sono stati introdotti quindi meccanismi di validazione con la suddivisione della serie storica in periodi *In Sample* e *Out Sample* per valutare la robustezza del sistema e misurare i decadimenti di performance.

Come accennato in precedenza con l'utilizzo di un *trading system* rimane la difficoltà di seguire rigorosamente una strategia, perché soprattutto con grandi investimenti è difficile non pensare alle possibili perdite. A volte infatti il trader è tentato a staccare il *trading* automatico chiudendo prematuramente posizioni, o a smettere di seguire una strategia dopo alcune operazioni in perdita, anche se coerente con le statistiche storiche, soprattutto quando il *draw-down* si avvicina. Il *draw-down* è la massima ricaduta di profitto registrata storicamente rispetto al picco precedente della curva profitti ed è un'incertezza che i *trading system* non possono eliminare perché le perdite negli investimenti nel mercato sono fisiologiche.

Un ultimo limite riguarda le risorse indispensabili per sviluppare un valido sistema di *trading* automatico. L'implementazione necessita di risorse tecnologiche di qualità sia per hardware che per software, però l'eccellenza comporta costi elevati. Inoltre lo sviluppo di un *trading system* richiede un elevato livello di

competenze per i *trader*, che devono avere una solida conoscenza di statistica, informatica ed Analisi Tecnica.

2.2 Definizione della strategia – trading plan

Prima di mettere in atto una strategia operativa al fine di ottenere ottimi risultati in termini economici è opportuno fissare dei fattori e stabilire delle regole. È perciò utile:

- decidere su quali mercati operare
- individuare il *timing* di ingresso sul mercato: un *trader* deve stabilire a priori i criteri che devono essere presenti sul mercato per aprire una posizione
- stabilire lo *Stop Loss*. Lo *stop Loss* costituisce la perdita massima che l'investitore è disposto ad accettare quando apre una posizione, fornisce quindi un'indicazione precisa per chiudere un'operazione quando si raggiunge un determinato livello di perdite.
- definire i criteri per gestire una posizione e le sue regole di chiusura.

Nel *trading* è infatti fondamentale stabilire i limiti oltre i quali interrompere l'utilizzo di una strategia.

Ma come capire quando è meglio chiudere una posizione?

Il massimo *draw-down* non è una misura adatta perché non è detto che dopo il superamento di un massimo storico non si ottengano risultati positivi. Sapere che una strategia nel passato ha perso un determinato ammontare di denaro non vuol

dire che non possa perderne anche di più in futuro, ma ciò non significa che in seguito il *trading system* possa riprendere a generare profitti. Utilizzare il doppio del massimo *draw-down* storico come soglia per fermare una strategia è sicuramente più logico ma questo limite potrebbe essere troppo elevato e quindi causare gravi perdite finanziarie. Un metodo per capire quale possa essere il rischio realistico di una strategia è la simulazione Monte Carlo; questa viene usata per calcolare una misura del rischio massimo che ci si può attendere da un *trading system* o da un portafoglio di *trading system*.

Chi fa *trading* deve coprirsi dai rischi e deve quindi conoscere le strategie per gestire la posizione quando il mercato non è propizio.

2.3 Costruzione di una strategia

L'Analisi Tecnica permette di trovare innumerevoli strategie di *trading*. Per creare una strategia vincente non è necessario soltanto scegliere con cura una o più tecniche di *trading* e applicarle sul mercato, ma è indispensabile stabilire decisioni legate alla tecnica al *Money Management*. Questa disciplina comprende non solo il modo con cui si ottimizza il capitale ma anche le tecniche di controllo del rischio (*risk management*). Lo scopo del *Money Management* è ottimizzare il profitto, consentendo ai *trader* di ridurre le perdite potenziali.

Per decidere la strategia da implementare si deve innanzitutto definire il tipo di tattica da seguire. Esistono strategie *trend-follower* e strategie di inversione.

Le prime cercano di trarre vantaggio dall'inerzia dei movimenti di prezzo sui mercati finanziari, verso l'alto o verso il basso non importa, purché abbiano una direzione precisa e non siano semplici movimenti laterali. I *trader* entrano nel mercato quindi solo dopo che la tendenza si è "correttamente" affermata, confidando che continuerà a lungo.

Le seconde sono basate su oscillatori o *pattern*. Questi ultimi sono configurazioni grafiche definite e identificabili; sono considerati strumenti di analisi più robusti rispetto alle logiche di *trend following*. Operare in inversione di *trend* permette di cogliere le fasi di rimbalzo e quindi anticipare l'inizio di un *trend* o se il trend è al rialzo queste strategie prevedono di aprire una posizione *short* quando il *trend* risulta affaticato ed è quindi più probabile ricavare profitto.

Training e testing

La costruzione di un *trading system* si compone di due fasi: la fase di *training* e la fase di *testing*. Nella fase di *training*, dopo aver selezionato i criteri operativi e i relativi parametri si esegue un addestramento del sistema, ovvero un'ottimizzazione dei parametri utilizzando una serie storica di dati. Nella fase di *testing* si applica il *trading system* a una serie di dati relativi a un periodo diverso da quello utilizzato per l'addestramento.

Per valutare la bontà di un *trading system* e per evitare il rischio di *overfitting* occorre un valido metodo di *testing*.

Un modo per testare le strategie consiste nell'effettuare il test *in sample / out of sample*. In questo test il *database* storico di uno strumento finanziario è diviso in due parti: il 70% dello storico è detto "*in sample*" e costituisce la base su cui viene sviluppato il *trading system*, si definiscono le regole di ingresso e i filtri, si provano le regole di *money management* e si ottimizzano i parametri. La parte della serie storica detta "*out of sample*" è il 30% rimanente dello storico ed è più recente. È utilizzata per simulare una situazione futura sconosciuta al sistema, effettuando un test sulla parte della serie storica su cui il sistema non è stato adattato.

Se il risultato è un decadimento delle prestazioni del *trading system* superiore al 25% rispetto alla parte *in sample* allora la strategia adottata è stata iperottimizzata ed ha scarse probabilità di ottenere buoni risultati.

2.3.1 Caratteristiche di una strategia di trading

Per essere considerato valido un *trading system* deve possedere tre caratteristiche principali: significatività, efficienza e robustezza.

La misura della significatività di un sistema consiste nell'errore di rilevazione uguale, a sua volta, all'inverso della radice quadrata del numero di operazioni O necessarie per realizzare il *trading*:

$$errore = \frac{1}{\sqrt{O}}$$

Affinché un test sia significativo è necessario però che le operazioni siano numerose. Infatti di solito il valore dell'errore deve essere al di sotto del 5% e per produrlo il sistema deve aver generato almeno 400 operazioni.

Per misurare l'efficienza di un sistema si confronta il profitto effettivo ottenuto con il sistema con quello teorico. Si considera dunque il guadagno del sistema in esame rispetto a un sistema ideale che compra sempre sui minimi e vende sui massimi.

Infine un *trading system* è definito robusto se una minima modifica dei parametri non provoca una ricaduta di redditività. Un sistema è considerato robusto se genera risultati positivi senza dipendere da un numero limitato di parametri. Un sistema che funziona bene solo con un insieme ristretto di parametri è detto *overfitted* (o sovraottimizzato).

Capitolo 3 – Reti Neurali

In questi ultimi anni sta emergendo un notevole interesse per una nuova classe di modelli quantitativi, caratterizzati da un'architettura tesa a riprodurre il cervello umano, noti come Reti Neurali.

L'utilità potenziale di questi strumenti è esplosa grazie alla sempre maggiore capacità computazionale e alla disponibilità di grandi masse di dati su cui applicarli. Sono impiegati ormai in molti settori grazie alla loro abilità di approssimazione generica, apprendimento da osservazioni sperimentali, classificazione e generalizzazione.

Una rete neurale è costituita da unità elementari, organizzate in strati secondo una particolare architettura, che vengono "addestrate" per risolvere un particolare problema.

Queste reti costituiscono una delle tecniche di base del *Machine Learning*, settore dell'Intelligenza Artificiale che riguarda lo studio, la costruzione e l'implementazione di algoritmi. Il *Machine Learning* è un metodo di analisi dei dati che insegna ai computer a svolgere un'attività naturale per l'uomo: imparare dall'esperienza. Questa tecnologia è infatti in grado di apprendere autonomamente e di imparare dai propri errori.

Le unità elementari della rete sono i neuroni artificiali. Questi sono interconnessi tra loro ed organizzati in strati (*layer*).

Quando il numero di *layer* è alto, la rete neurale viene detta profonda, da qui la definizione di *Deep Learning* (apprendimento profondo), sottocategoria del *Machine Learning*, che consente quindi un utilizzo più sofisticato delle reti neurali.

Il *Deep Learning* è una tecnologia chiave, per esempio, per le automobili a guida autonoma, poiché consente loro di riconoscere un segnale di stop o di distinguere un pedone da un lampione, e per il controllo vocale in dispositivi quali telefoni cellulari, tablet, TV, altoparlanti vivavoce. Nel *Deep Learning*, un modello computerizzato può imparare a svolgere attività di classificazione direttamente da immagini, testi o suoni. Questi modelli sono in grado di superare talvolta le prestazioni ottenute dall'uomo.

Inoltre, dato che i neuroni artificiali in una rete sono connessi tra loro, l'elaborazione delle informazioni avviene in modo parallelo e distribuito sull'intera struttura. Questo modello differisce dai calcolatori tradizionali, che contengono una sola o poche unità di calcolo e che quindi lavorano i dati secondo una sequenza di operazioni. Le reti neurali rappresentano dunque un tentativo per superare le carenze dei sistemi di elaborazione classici poiché adattano il proprio comportamento al compito che deve essere eseguito in modo analogo a quanto accade negli organismi viventi.

Si tratta di un *trend* in crescita ed i continui progressi permettono di ottenere modelli sempre più sofisticati.

L'applicazione delle reti neurali sta aumentando progressivamente anche in campo finanziario ed in particolare nel *trading* dato che sono modelli estremamente efficaci nell'analisi di situazioni non "predicibili" analiticamente, come la previsione di serie temporali.

3.1 Storia

I primi studi sulle reti neurali furono condotti nel 1943 da W.S. McCulloch e W. Pitts, che, unendo la neurofisiologia alla logica matematica, proposero il primo neurone artificiale.

Un modello computazionale più generale venne presentato nel 1958 da F. Rosenblatt, grazie all'introduzione di pesi numerici e di uno speciale percorso di interconnessione. Questa entità con un ingresso, un'uscita e una regola di apprendimento basata sulla minimizzazione dell'errore, fu chiamata Percettrone. Il Percettrone è un semplice classificatore binario in grado di apprendere efficacemente la regola necessaria per riconoscere due classi di input diverse e linearmente separabili.

Dopo un primo periodo di entusiasmo in questo campo, a fine anni '60 M. Minsky e S. Papert evidenziarono però i limiti operativi del modello di Rosenblatt. A causa di queste osservazioni l'interesse per la computazione neurale venne tralasciato fino a quando, negli anni '80, il fisico Hopfield si oppose in modo diretto alla loro confutazione, riaprendo degli spiragli per la ricerca in questo settore.

Il 1986 rappresentò l'anno del rilancio definitivo delle reti neurali grazie alla descrizione dell'algoritmo di apprendimento basato sulla retropropagazione dell'errore (error backpropagation) proposto da David E. Rumelhart, G. Hinton e R. J. Williams, che eliminò molte delle limitazioni del Percettrone.

3.2 Struttura di una rete neurale artificiale

Le Reti Neurali Artificiali (*Artificial Neural Network - ANN*) sono quindi la base di evolute forme di intelligenza artificiale, in grado di apprendere sfruttando meccanismi simili a quelli del cervello umano (Fig. 3.1).

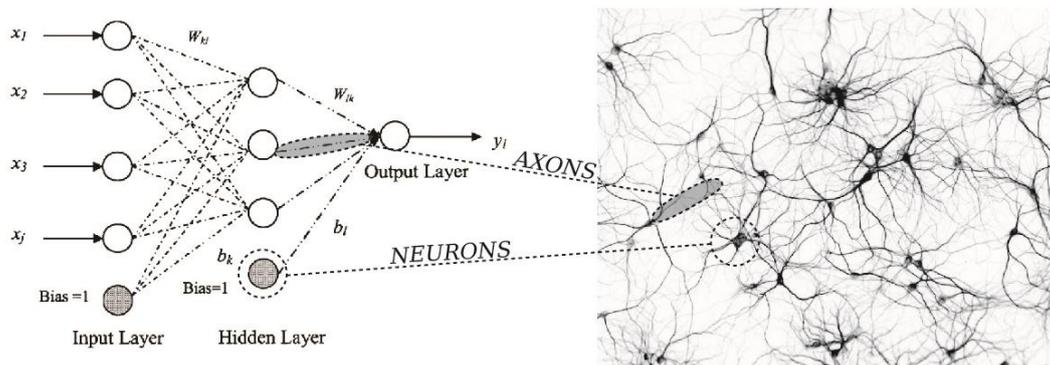


Fig.3.1 Rete neurale artificiale vs rete neurale biologica

Come la rete neurale biologica, che combina una serie di input derivanti dagli organi sensoriali e fornisce degli output, mediante un elevato numero di neuroni connessi in parallelo, allo stesso modo le reti neurali artificiali elaborano una serie di input per ottenere uno o più output.

Una rete neurale di fatto si presenta come un sistema "adattivo" in grado di modificare la sua struttura, ossia i nodi e le interconnessioni, basandosi sia su dati

esterni sia su informazioni interne che attraversano la rete durante la fase di addestramento.

Le ANN ricevono segnali esterni su uno strato di “nodi d’ingresso”. Ognuno di questi nodi è collegato a svariate unità interne della rete che sono organizzate a più livelli in modo che ogni singolo nodo possa trasformare i segnali ricevuti, tramite una funzione tipicamente non lineare, e trasmettere ai livelli successivi il risultato delle sue elaborazioni.

Sono tipicamente formate da tre strati (Figura 3.2), che possono coinvolgere addirittura migliaia di neuroni e decine di migliaia di connessioni:

- strato di input (*input layer*): i neuroni di questo strato ricevono i segnali in ingresso adattandoli alle richieste dei neuroni della rete;
- uno o più strati nascosti (*hidden layers*): in cui avviene il processo di elaborazione vero e proprio
- strato di output (*output layer*): in cui sono presenti uno o più neuroni che forniscono il risultato finale.

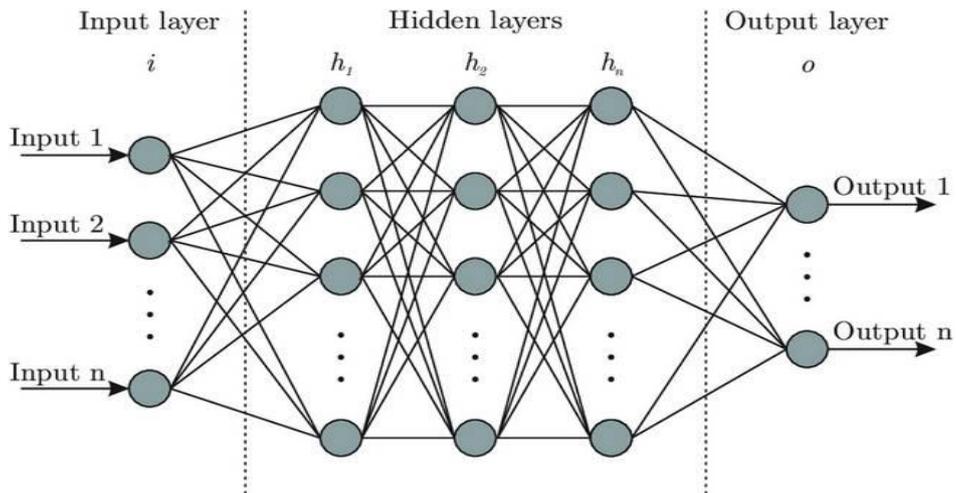


Fig.3.2 Strati di una rete neurale

3.2.1 Neurone artificiale

Una rete neurale può essere rappresentata come un grafo orientato, in cui i nodi (neuroni) sono collegati tra loro da archi (sinapsi).

Ad ogni arco è associato quindi un determinato peso numerico modificabile, w , che consente al sistema logico-matematico di memorizzare le informazioni e di eseguire un processo di apprendimento. La capacità operativa di una rete, ossia la sua conoscenza è quindi contenuta nelle sinapsi, che costituiscono la memoria a lungo/breve termine di una rete in quanto i pesi corrispondenti sono determinati attraverso l'apprendimento.

Un neurone artificiale, rappresentato in Figura 3.3, è costituito da un'unità che riceve in ingresso un valore numerico, net_j . Elaborando questo dato, a seconda che venga superata (o meno) una certa soglia di attivazione, il neurone si attiva oppure si inibisce.

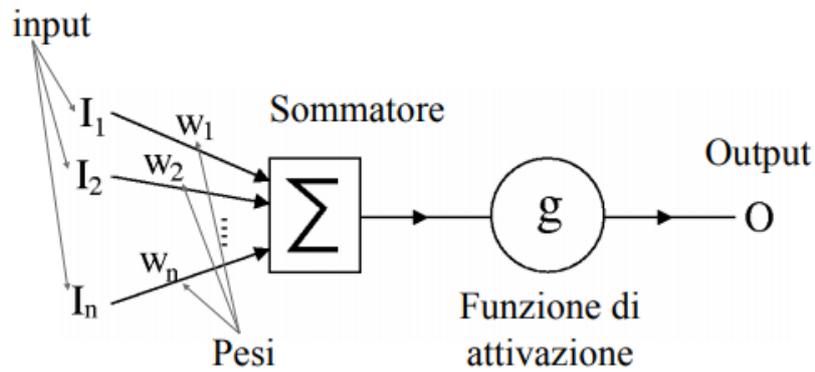


Fig.3.3 Neurone artificiale

Il dato in input net_j , definito potenziale di attivazione, è ottenuto sommando i segnali di ingresso (x_i), moltiplicati per i relativi pesi delle connessioni (w_{ji}):

$$net_j = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_{ji} \quad (1)$$

Un neurone è caratterizzato da una funzione e da una soglia di attivazione. Quest'ultima è introdotta mediante un ingresso costante, uguale a 1, opportunamente modulato da un peso speciale, che prende il nome di *bias*, il cui effetto è quello di traslare il valore della soglia di attivazione.

Per poter attivare il neurone di output e quindi produrre il risultato finale della rete, è necessario confrontare la somma degli input pesati (Eq.1) con una certa soglia precedentemente determinata.

Questo confronto viene effettuato da una cosiddetta funzione di attivazione (g), che rappresenta un fattore di non linearità in grado di approssimare qualsiasi funzione.

Se la somma dei segnali in ingresso ponderati è uguale o superiore alla soglia prevista, la funzione “attiva” il neurone di output, y_j , trasmettendo il valore al *layer* successivo:

$$y_j = g \left(\sum_{i=1}^n x_i \cdot w_{ji} \right)$$

Esistono differenti funzioni di attivazione, a seconda del ruolo che il neurone e la rete neurale sono destinati a svolgere.

3.3 Caratteristiche delle reti neurali

Le reti neurali si differenziano principalmente per:

- architettura dei collegamenti
- tipo di apprendimento
- algoritmo di apprendimento

3.3.1 Architettura di una rete

Le ANN si possono classificare in base alla struttura, ossia in base al modo in cui sono collegati tra di loro i neuroni. Si distinguono due tipi di architetture:

- architetture *feed-forward*: in cui le connessioni tra i nodi non consentono retroazioni tra strati e quindi il segnale è trasmesso solo ai neuroni appartenenti allo strato successivo. Le informazioni si muovono quindi in una direzione partendo dai nodi d'ingresso, attraversando gli eventuali strati nascosti, per arrivare alle unità di output.

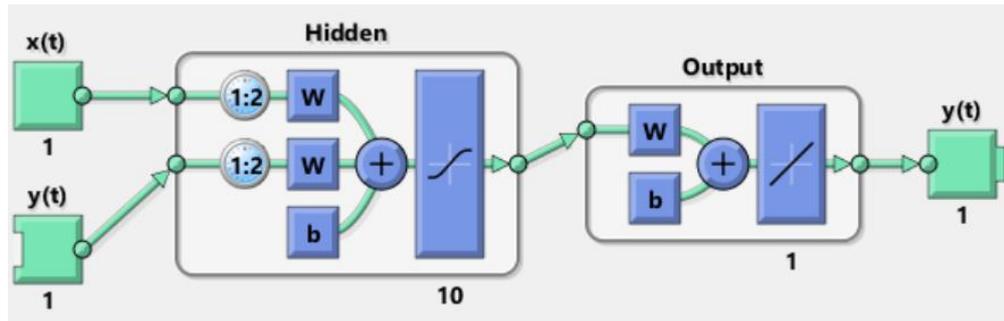


Fig.3.4 Feed-forward net

- architetture *feedback* (o ricorrenti): queste reti sono caratterizzate dalla presenza di connessioni tra neuroni dello stesso strato o tra neuroni dello strato precedente. Quindi gli output di uno strato di un livello successivo sono utilizzati anche come input per uno strato precedente. Ciò consente di memorizzare alcune informazioni precedenti; questo tipo di architettura è adatto perciò per analisi predittive su sequenze di dati.

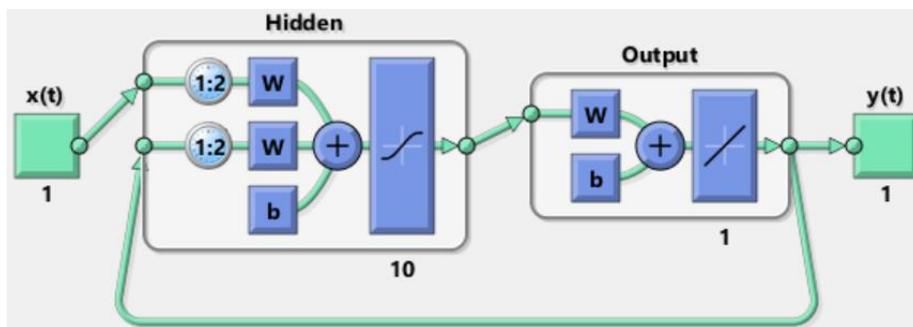


Fig.3.5 Feedback net

3.3.2 Apprendimento di una rete

L'addestramento delle reti neurali può essere eseguito attraverso tre differenti tecniche di *Machine Learning*: apprendimento supervisionato, non supervisionato e per rinforzo.

Apprendimento supervisionato

Nell'apprendimento supervisionato si fornisce alla rete un insieme di input ai quali corrispondono output noti. La rete, elaborando i dati, identifica il nesso che collega i dati in ingresso con quelli in uscita. In questa maniera la rete apprende ed impara a generalizzare, e quindi a processare input esterni al *training set*. Le reti supervisionate risultano adatte per la modellazione e il controllo di sistemi dinamici, la classificazione di dati rumorosi e la previsione di eventi futuri.

Apprendimento non supervisionato

In questo metodo di addestramento al sistema vengono forniti solo i dati di input senza indicazioni sul risultato desiderato. Lo scopo di questo secondo metodo di apprendimento è "risalire" a schemi e modelli nascosti, ossia identificare nei dati di input una struttura logica senza risposte etichettate. È possibile usare questo algoritmo per scoprire le distribuzioni naturali, le categorie e le relazioni all'interno dei dati.

Apprendimento per rinforzo

Nelle reti neurali che apprendono mediante l'algoritmo per rinforzo, non esistono né associazioni input-output, né aggiustamenti degli output da ottimizzare. Questa tecnica di programmazione cerca di individuare un certo *modus operandi* osservando l'ambiente esterno e si basa sul presupposto di potere ricevere degli stimoli dall'esterno a seconda delle scelte dell'algoritmo. Ogni azione ha infatti un impatto sull'ambiente e quest'ultimo produce un *feedback* (positivo o negativo) mediante la funzione di rinforzo che guida l'algoritmo nel processo di

apprendimento. I circuiti neurali devono quindi raggiungere un obiettivo, imparando mediante l'interazione con un ambiente dinamico.

3.3.3 Algoritmo di apprendimento

La fase di apprendimento consiste nella regolazione delle connessioni ponderate tra i diversi nodi. Ciò avviene in seguito al calcolo dell'errore commesso dalla rete, consistente nella differenza tra l'output desiderato e quello effettivo fornito dalla rete. Una volta aggiornati i pesi, l'errore viene dunque ricalcolato fino a quando i valori dei pesi convergono ad una soluzione ottimale, idealmente quando l'errore è zero.

Attraverso cicli più o meno numerosi di elaborazione input-output, una rete addestrata diventa in grado di generalizzare e dunque di fornire output corretti associati anche ad input non appartenenti nel *training set*.

La parte delicata di questo processo però è proprio la determinazione dei pesi da assegnare ad ogni *input*. Dato che non sono noti a priori i pesi esatti, la rete inizialmente li attribuisce in modo del tutto casuale e successivamente attraverso un algoritmo regola questi valori in modo da ottenere l'output desiderato.

Molti algoritmi di apprendimento hanno una procedura iterativa per minimizzare la funzione di errore, consistente quindi nella determinazione dei pesi di connessione dopo alcuni passaggi.

Uno degli algoritmi che opera in questo modo è l'algoritmo di retro-propagazione dell'errore (*error backpropagation*), di largo uso in molti campi applicativi, che ha

lo scopo appunto di configurare i pesi sinaptici, contenenti tutta la conoscenza appresa dalla rete.

Error backpropagation

L'algoritmo *Error Back Propagation* (EBP) venne proposto da D. E. Rumelhart, G. E. Hinton e R. J. Williams nel 1986.

È un processo iterativo in grado di propagare a ritroso l'errore (da qui il nome dell'algoritmo) a partire dai nodi più esterni.

Per ricavare l'errore, tuttavia, deve essere stata precedentemente eseguita una fase *forward propagation*, ossia la propagazione delle informazioni in avanti dal livello di input a quello di output. In tale passaggio i neuroni vengono "innescati" utilizzando una funzione di attivazione. Questo algoritmo è quindi principalmente impiegato per l'addestramento delle reti supervisionate poiché, per calcolare l'errore di output e cambiare quindi i valori dei pesi, il risultato desiderato finale deve essere noto.

Se le unità di input sono direttamente connesse con le unità di output, è relativamente semplice trovare una regola che aggiusti i pesi delle connessioni in modo da ridurre la differenza tra l'output attuale e quello desiderato.

Se invece si considera una rete con strati *hidden* la regola di addestramento diventa più complessa poiché l'errore sulle unità nascoste non è noto. Per calcolarlo quindi si ricorre al concetto di retro-propagazione dell'errore. Questa

tecnica consiste nel fare percorrere all'errore sull'output un cammino inverso attraverso le connessioni pesate tra le unità di output e quelle nascoste.

Per poter fare questo si devono ricavare, nella fase *forward*, i valori delle unità in ogni strato, applicando le equazioni riportate di seguito.

L'input totale net_j dell'unità j è definito dall'Equazione 1, ossia:

$$net_j = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_{ji}$$

Il valore reale dell'output del nodo j , y_j , è una funzione non lineare dell'input totale net_j :

$$y_j = \frac{1}{1 + e^{-net_j}} \quad (2)$$

In questo algoritmo, per attivare un neurone, come si evince dall'equazione 2, la funzione di attivazione (g) utilizzata è la sigmoide logistica.

L'obiettivo dell'algoritmo è, come già affermato, quello di trovare la giusta combinazione dei pesi in modo che, per ogni vettore di input, la differenza tra il vettore di output ottenuto dalla rete e quello desiderato sia minima. L'Errore totale E è dato da:

$$E = \frac{1}{2} \sum_c \sum_j (y_{jc} - d_{jc})^2 \quad (3)$$

dove c è il numero di coppie input-output appartenenti all'insieme di dati considerati; j è un indice sull'unità di output; y è il valore attuale di un nodo e d il valore desiderato, detto *target*.

Per minimizzare E e quindi determinare il valore dei pesi, esistono molte tecniche iterative. Si possono distinguere ad ogni passo due fasi: nella prima fase, sono calcolate le derivate della funzione di errore rispetto ai pesi; nella seconda fase le derivate sono utilizzate per determinare i nuovi pesi della rete.

Il metodo più semplice è la tecnica della discesa del gradiente.

Tecnica Discesa del Gradiente

Il gradiente di una funzione è definito come il vettore che ha per componenti cartesiane le sue derivate parziali. Esso rappresenta la direzione di massimo incremento di una funzione di n variabili.

Il gradiente di E (eq.3) risulta essere:

$$\nabla E[\vec{w}] = \left[\frac{\partial E}{\partial w_0}, \frac{\partial E}{\partial w_1}, \dots, \frac{\partial E}{\partial w_n} \right]$$

L'algoritmo della Discesa del Gradiente determina i vettori peso che minimizzano la funzione di errore E . Ad ogni passo il vettore dei pesi è modificato nella direzione che produce la più ripida discesa del gradiente sulla superficie dell'errore.

La regola di aggiornamento dei pesi è determinata da:

$$\Delta \vec{w} = -\varepsilon \nabla E[\vec{w}]$$

dove il parametro ε è chiamato *learning rate* e determina l'entità della variazione.

Riscrivendo quest'ultima equazione nella forma delle sue componenti si ricava:

$$\Delta w_{ji} = -\varepsilon \frac{\partial E}{\partial w_{ji}} \quad (4)$$

Scomponendo Δw_{ji} secondo la *chain rule*:

$$\Delta w_{ji} = -\frac{\partial E}{\partial w_{ji}} = -\varepsilon \frac{\partial E}{\partial net_j} \frac{\partial net_j}{\partial w_{ji}} \quad (5)$$

Il fattore $\partial net_j / \partial w_{ji}$ dell'equazione (5) si può ricavare derivando l'equazione (1):

$$\frac{\partial net_j}{\partial w_{ji}} = x_i \quad (6)$$

inoltre, ponendo $-(\partial E / \partial net_j) = \delta_j$ e sostituendo nell'equazione (5):

$$\Delta w_{ji} = \varepsilon \delta_j x_i \quad (7)$$

Il termine δ_j può essere determinato applicando nuovamente il metodo *della chain rule*:

$$\delta_j = -\frac{\partial E}{\partial net_j} = -\frac{\partial E}{\partial y_j} \frac{dy_j}{dnet_j} \quad (8)$$

dove il valore $dy_j/dnet_j$ si calcola differenziando l'equazione (2) $y_j = \frac{1}{1+e^{-net_j}}$ e

sostituendo il risultato:

$$\frac{dy_j}{dnet_j} = y_j(1 - y_j) \quad (9)$$

dE/dy_j si ricava differenziando la funzione di Errore (3):

$$\frac{\partial E}{\partial y_j} = y_j - d_j \quad (10)$$

Quindi sostituendo nell'equazione (8) le componenti (9) e (10) si ricava il termine δ_j :

$$\delta_j = -(y_j - d_j)y_j(1 - y_j) \quad (11)$$

Inserendo δ_j nell'equazione (7), si ottiene il fattore che aggiorna il valore dei pesi di una connessione:

$$\Delta w_{ji} = \varepsilon \delta_j x_i = -\varepsilon(y_j - d_j)y_j(1 - y_j) \cdot x_i \quad (12)$$

Questa equazione può essere potenziata aggiungendo un termine:

$$\Delta w_{ji}(t) = -\varepsilon(y_j - d_j)y_j(1 - y_j) \cdot x_i + \alpha \Delta w_{t-1} \quad (13)$$

dove α è un fattore esponenziale compreso tra 0 e 1 che determina il contributo relativo del gradiente corrente e dei gradienti precedenti al cambiamento del peso.

Una volta ricavato $\Delta w_{ji}(t)$ è dunque possibile modificare ad ogni passo il peso di una connessione secondo la seguente regola:

$$w_{ji}(t + 1) = w_{ji}(t) + \Delta w_{ji}(t) \quad (14)$$

Questo algoritmo permette quindi alla rete di apprendere, minimizzando la funzione di errore E ed aggiornando i pesi nella direzione opposta al gradiente.

3.4 Applicazioni delle reti neurali artificiali

I campi di applicazione delle reti neurali sono tutti quelli in cui l'analisi statistica delle variabili risulta difficoltosa o dispendiosa in termini di calcolo e dove non è chiaro a priori quali relazioni deterministiche ci siano tra le diverse variabili che caratterizzano un problema.

Le reti neurali sono tipicamente impiegate nei software OCR (*Optical Character Recognition*), nei sistemi di riconoscimento facciale o vocale e più in generale nei sistemi che si occupano di trattare dati soggetti a errori o rumore. Sono applicate anche in campo medico, per esempio, per individuare la patologia di un paziente in base ai risultati di esami diagnostici, nelle analisi di *Data mining* e per generare previsioni sia finanziarie che metereologiche.

In questa ricerca saranno applicate in ambito finanziario, campo in cui le reti neurali trovano un utilizzo nella gestione dei portafogli, nella stima dei modelli di curva dei rendimenti, nella valutazione dei titoli obbligazionari e azionari, nelle strategie di *trading*, di copertura e di arbitraggio e, infine, nella previsione dell'andamento dei prezzi. In quest'ultimo caso, l'oggetto dell'analisi può riguardare ad esempio il valore degli indici di mercato, dei titoli obbligazionari, dei contratti *futures*, dei tassi di interesse o quelli di cambio.

3.5 Vantaggi e limiti delle reti neurali

3.5.1 Vantaggi

Le reti neurali presentano importanti vantaggi. I principali sono:

- elevato parallelismo: una rete essendo composta da un insieme di neuroni, interconnessi tra loro, riesce a elaborare le informazioni in modo parallelo e distribuito sull'intera struttura. È quindi in grado di processare molti dati in tempi relativamente rapidi, mentre in un calcolatore tradizionale ciascun dato viene elaborato individualmente ed in sequenza;
- tolleranza al rumore: le reti possiedono la capacità di operare in molti casi in modo corretto nonostante input mancanti o imprecisi. In pratica è in grado di lavorare anche con informazioni approssimate, incomplete o affette da errore. Questa caratteristica le rende un valido strumento per l'analisi dei dati finanziari;
- capacità di generalizzazione: ossia è in grado di fare previsioni coerenti anche per nuovi dati esterni al *set* di addestramento avendone identificato le regolarità; inoltre durante la fase di *training* viene generato un *validation set* per misurare questa proprietà.
- evoluzione adattiva: una rete neurale ben implementata è in grado di auto-aggiornarsi in presenza di modifiche esterne.

Le reti sono spesso utilizzate per eseguire compiti che possono essere condotti anche attraverso l'analisi statistica classica. Le differenti tipologie di reti possono essere infatti associate a modelli statistici consolidati come la regressione

semplice e multipla, lineare e non lineare, l'analisi discriminante, l'analisi delle componenti principali e *cluster analysis*. Tuttavia il loro impiego mostra vantaggi significativi rispetto alle tecniche tradizionali, nel caso di forme funzionali fortemente complesse e altamente non lineari.

3.5.2 Limiti

Le reti neurali artificiali presentano dei limiti ed è difficile prevedere se nel tempo potranno essere eliminati o attenuati.

Il più rilevante è il funzionamento a *black box*. Le iterazioni necessarie per implementare la rete dipendono da fattori quali numero e complessità delle variabili di input, numero di *hidden layers* e algoritmo utilizzato. A differenza dei classici *software* che eseguono un codice che spiega loro che cosa devono fare, i programmi basati sul *Deep Learning* imparano da soli e non c'è modo di sapere con precisione in che modo hanno determinato la soluzione. Le reti non permettono quindi di esaminare i singoli stadi di elaborazione che determinano l'output.

L'*overfitting* è l'altro grande limite delle reti artificiali. In una rete neurale, come avviene per l'analisi di regressione, se si aumenta il numero di nodi, e quindi il numero delle interconnessioni, i gradi di libertà diminuiscono. Il sistema si adatta in modo troppo perfetto ai dati (*overfit*), diventa quindi meno flessibile e non è più in grado di prevedere o comunque approssimare i valori anomali. La rete perde quindi di capacità di generalizzazione.

Capitolo 4 - Applicazione di un trading system

4.1 Introduzione

I prezzi giornalieri delle attività finanziarie sono imprevedibili poiché tengono conto anche di fattori esogeni come eventi politici ed internazionali. Esistono però approcci utilizzati per intuire le direzioni future dei prezzi basati sull'Analisi Tecnica, sull'Analisi Fondamentale e sul *Machine Learning*.

L'obiettivo dell'elaborato è l'applicazione delle reti neurali con lo scopo di realizzare profitti speculativi tramite *trading*, di breve periodo, di attività finanziarie quotate.

In questo caso l'oggetto di analisi è l'indice Eurostoxx50, di cui sono stati presi in considerazione i dati storici da settembre 2010 a dicembre 2020, scaricati dal sito di *Yahoo Finance*. Per la creazione e l'allenamento delle reti, infine, così come per la realizzazione degli strumenti di supporto grafico per l'analisi dei risultati, sono stati utilizzati Matlab (*Neural Network Toolbox*) ed Excel.

4.1.1 Eurostoxx50

L'Eurostoxx50 è un indice di titoli presenti nella zona Euro introdotto nel 1998 dalla Stoxx Limited, *join venture* creata da Deutsche Borse AG, Dow Jones & Company e SWX Group.

L'indice, aggiornato ogni anno, è composto da 50 titoli delle più importanti aziende presenti nell'Eurozona.

In *Figura 4.1* è illustrato l'andamento dei prezzi di chiusura dell'Eurostoxx50 nei 10 anni considerati.

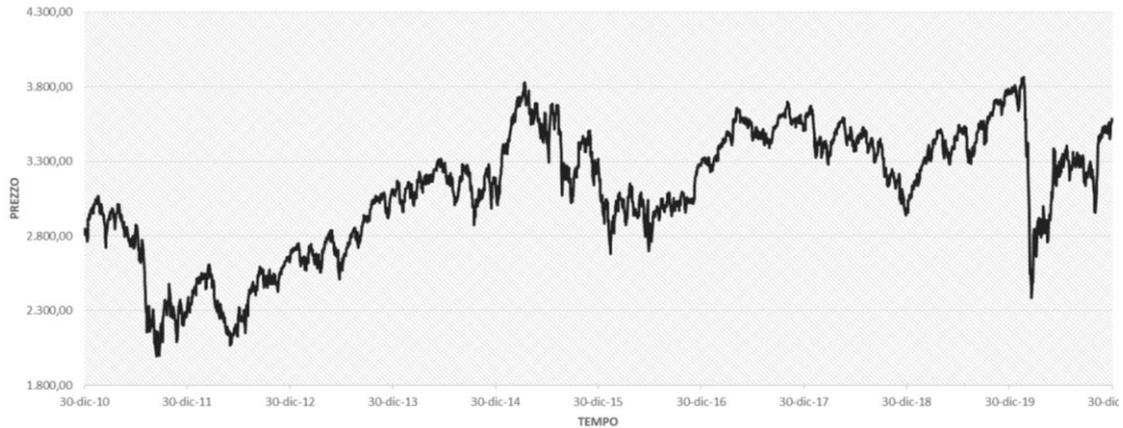


Fig.4.1 Eurostoxx50: 2010-2020

Si osserva che nel 2010 l'indice si porta oltre i 2.000 punti ed a più riprese cerca di raggiungere la resistenza dei 3.000, superandola di poco nei primi mesi del 2011.

Dal mese di giugno 2011, invece, inizia un nuovo ritorno al ribasso dell'Eurostoxx50 che lo porta a toccare, nel settembre 2011, la più bassa quotazione a pari 1.995,01 €. A marzo 2012 l'indice recupera alcuni dei punti persi sfiorando la quota dei 2.600 punti prima di subire un altro crollo a giugno 2012.

A partire da questo momento inizia un *trend* rialzista a seguito della ripresa economica della zona Euro. L'indice, a fine 2013, riesce infatti a raggiungere la resistenza forte dei 3.000 punti e si dirige verso il livello dei 3.300 a giugno 2014. Tuttavia, ad ottobre 2014, si assiste ad un nuovo calo fino a toccare i 2.991 punti.

Dopo questo ribasso, la crescita dell'indice riprende fino a raggiungere una quotazione di 3.816 ad aprile 2015. Questo rialzo si conclude con molte operazioni di ritiro degli utili che fanno però ricadere il titolo a 3.088 punti. Dopo un tentativo di ripresa nel novembre 2015, il valore dell'indice precipita però a 2.750 €.

Nel 2016, l'andamento dell'Eurostoxx50 evolve a dente di sega in un intervallo compreso tra i 2.750 e 3.150 punti passando ciclicamente al disopra e al disotto della barra dei 3.000, considerato un punto *pivot*.

Il 2017 contrassegna invece l'inizio di una nuova tendenza rialzista, relativamente stabile e solida, che ha permesso di raggiungere il livello dei 3.660 punti a maggio 2017 e poi dei 3.690 punti a novembre dello stesso anno.

Nel 2018 l'Eurostoxx50, però, crolla progressivamente fino a toccare una quotazione inferiore a 3000.

A partire dalla seconda metà del 2019, l'indice ha registrato una crescita costante; tuttavia, con lo scoppio dell'emergenza Coronavirus, l'andamento è decisamente cambiato.

L'anno 2020 è stato decisamente atipico e con un inizio caratterizzato dal crollo dei mercati azionari, legato all'esplosione della pandemia da Covid-19. L'Eurostoxx50 ha dunque subito un notevole ribasso che lo ha portato a sfiorare i 2300 punti.

La Borsa si è poi gradualmente ripresa ed anche l'andamento dell'Eurostoxx50 ha mostrato segni di un *trend* rialzista fino a superare nel dicembre 2020 una quotazione di 3500.

Volatilità dell'Eurostoxx50

La volatilità è un aspetto importante da tenere in considerazione dato che indica l'ampiezza del movimento del prezzo. Più alta è la volatilità, più la quotazione di un titolo si muove in un determinato periodo di tempo e di conseguenza maggiore è il rischio legato all'investimento. Attività meno volatili, invece, rappresentano un investimento a basso rischio e le variazioni di prezzo sono ridotte.

La volatilità σ di uno strumento finanziario è data da:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(p_i - \bar{p})^2}{n}}$$

Dove \bar{p} è la media dei prezzi (di chiusura p_i) del periodo di tempo n considerato.

L'Eurostoxx50 è caratterizzato da un'elevata volatilità; è quindi necessario stabilire una strategia di *trading* che tenga conto di questa caratteristica.

4.2 Strategia di trading

I *trader* utilizzano diversi indicatori per costruire una strategia di negoziazione, l'obiettivo è capire quali sono quelli che usati insieme consentono di stabilire il momento migliore per entrare o uscire dal mercato.

Prima di definire un sistema di *trading* è necessario però decidere l'orizzonte temporale su cui si vuole operare in modo da determinare gli indicatori tecnici in modo opportuno. Infatti, se si considera il medio/lungo termine devono essere calcolati sulla base di un ampio periodo (50-200 giorni), per il *trading* di breve termine sono determinati considerando un arco temporale più ristretto (di solito 5-14 giorni).

Esistono differenti strategie di *trading*: lo *scalping*, il *day trading* e lo *swing trading*.

- Lo *scalping* è un metodo di investimento sul brevissimo termine. Sono quindi aperte e chiuse le posizioni nell'arco di pochi minuti o di qualche decina di secondi. Ciò richiede un'elevata concentrazione e deve essere effettuato in un periodo di altissima volatilità.
- La strategia del *day trading* consiste nella compravendita di strumenti finanziari durante una singola giornata di negoziazione, tutte le posizioni vengono chiuse a fine giornata e si ricomincia ad operare il giorno successivo. Inoltre, dato che l'Eurostoxx50 è un indice molto volatile, le differenze di seduta a breve termine sono interessanti.
- Lo *swing trading* è una tecnica di *trading* che permette di aprire una posizione su un certo mercato, *short* o *long*, e di chiuderla dopo giorni o settimane traendo profitto da variazioni di prezzo o "oscillazioni", con il vantaggio di non richiedere un'attenzione continua da parte dell'investitore. Per gestire al meglio i propri rischi è consigliato decidere a priori lo *stop limit* delle posizioni per chiuderle al momento più opportuno.

Una strategia vincente quindi dipende da differenti fattori: dalla corretta combinazione degli indicatori tecnici, dal periodo di tempo che si prende in considerazione, dal *trader*, dalle risorse economiche a disposizione, dal tipo di mercato in cui si opera, dalle aspettative ed infine dal rischio di perdite che si è disposti a sopportare.

4.2.2 Trading Plan

Nei paragrafi seguenti sono stati riportati i risultati, relativi agli anni 2019 e 2020, di una strategia di *trading* basata su due oscillatori: RSI e stocastico. I costi di transazione sono stati trascurati.

Questa strategia prevede l'impiego dell'RSI (*Relative Strength Index* a 5 e 14 periodi) e dello stocastico *slow* (calcolato su 14 giorni) al fine di ottenere un vantaggio operativo. I due oscillatori, essendo reattivi, riescono a catturare le vibrazioni di breve periodo, prodotte dalla volatilità dell'Eurostoxx50, ed in base al loro valore sono forniti avvisi per l'apertura e la chiusura di posizioni *long* e *short*.

Andare *long* significa acquistare titoli azionari con l'aspettativa che il loro valore si elevi in futuro in modo tale da venderli ad un prezzo superiore rispetto al la quotazione originaria.

Andare *short* invece equivale a speculare sul ribasso di uno titolo finanziario attraverso il meccanismo delle vendite allo scoperto. Tale strategia consiste nella vendita di un pacchetto di azioni che l'investitore oggettivamente non possiede

ma che prende in prestito dalla propria banca, al valore della loro quotazione del momento e con l'obbligo di restituirle.

Per ottenere un profittevole sistema di *trading* è necessario, come anticipato nel Capitolo 2, utilizzare un *trading plan*, ossia un insieme di regole prestabilite che impongono una disciplina ferrea per le varie scelte operative ed evitano decisioni errate.

Le regole per gestire una posizione sono state quindi stabilite a priori e sono presentate di seguito.

Apertura di una posizione

Una posizione *long* è aperta se sia il *Relative Strength Index*, a 5 e 14 giorni, che lo stocastico si trovano nell'area di ipervenduto, ossia rispettivamente al di sotto del valore di 30% e 20% e se il valore di chiusura giornaliero è pari al prezzo minimo dei 14 giorni precedenti. Viceversa, un'entrata al ribasso conviene se gli oscillatori si trovano nell'area di ipercomprato, che corrisponde ad un *range* compreso tra 70-100% per RSI e 80-100% per lo stocastico e se il prezzo di chiusura corrisponde alla massima chiusura registrata nei 14 giorni anteriori alla data considerata.

Chiusura posizione

L'uscita da una posizione aperta avviene se si verifica una delle condizioni opposte. Se dunque l'RSI (a 5 periodi) o lo stocastico si portano nell'area di ipervenduto, la posizione *long* viene chiusa; viceversa se uno dei due oscillatori giunge nell'area di ipercomprato si verifica l'uscita dalla posizione *short*.

Stop Loss, Take profit e Trailing Stop

Lo *stop loss* (letteralmente stop alla perdita) è uno strumento di gestione del rischio che serve al *trader* per limitare le perdite in ogni singola operazione che effettua sul mercato. Indica quindi il livello al quale si deve chiudere la posizione in perdita. Lo *stop loss* può essere in percentuale, in valore monetario, basato sui *pattern candlestick*, su figure grafiche o sulla volatilità.

Quando il prezzo di mercato raggiunge il livello prestabilito, l'ordine *stop-loss* viene attivato e la posizione si chiude in perdita.

Se lo *stop loss* è fissato ad un livello troppo piccolo, però, si possono chiudere presto operazioni potenzialmente in profitto, se invece il livello è troppo grande si rischia di subire perdite eccessivamente elevate.

L'omologo dello *stop loss* ma di segno inverso è il *take profit*. Questo viene infatti usato per chiudere automaticamente, ad un livello prestabilito, un'operazione in guadagno. Attraverso questo strumento è quindi possibile impostare un livello di chiusura a seconda degli eventuali profitti raggiunti.

Stop loss e take profit possono essere quindi impiegati per pianificare guadagni e perdite di una strategia.

A differenza dello *stop loss*, un *trailing stop loss* serve invece sia a massimizzare i profitti durante il *trading* sia a ridurre il rischio di perdite significative, poiché è uno *stop dinamico*, ossia un livello di prezzo mobile che cambia a seconda del prezzo corrente. E' quindi essenziale stabilire un livello di attivazione ed uno di

spostamento. In questo caso lo *stop* si sposta infatti solo quando il prezzo di mercato segue la direzione desiderata. Questo strumento può essere vantaggioso rispetto ad un normale *stop-loss* se il prezzo di mercato si muove positivamente ma poi inverte l'andamento.

In questo progetto di tesi nell'analisi della strategia di negoziazione si è preso in considerazione esclusivamente lo *stop loss* percentuale, tralasciando gli altri strumenti di gestione del rischio.

4.2.3 Applicazione della strategia

E' stata applicata ai dati dell'Eurostoxx50 degli anni 2019 e 2020 la strategia di *trading* sopra-descritta. I risultati sono riportati di seguito (in Appendice le operazioni in dettaglio).

Anno 2019

Come si evince dalla figura 4.2 l'andamento dell'Eurostoxx50 nel 2019 è stato caratterizzato da un *trend* crescente con varie oscillazioni di prezzo. La strategia attuata cerca proprio di massimizzare i profitti delle operazioni sfruttando queste variazioni di valore.

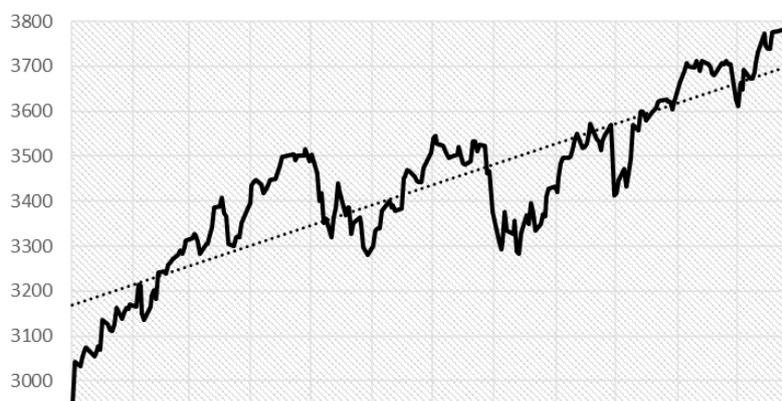


Figura 4.2 Eurostoxx50 2019

Applicando le regole sopra esposte di entrata e di uscita dal mercato nel 2019 sono state individuate 37 operazioni potenzialmente profittevoli.

Di queste, però, solo 33 si sono rivelate effettivamente vincenti, le rimanenti si sono chiuse in perdita. Dalla tabella riassuntiva (Tab.1) si può osservare dunque che i segnali di *trading* forniti hanno mostrato la loro efficacia; infatti, partendo da un *equity* iniziale nullo, questo sistema ha portato ad un guadagno di 1.585,16 € e con una percentuale redditizia pari a circa 90%.

Trading System 2019	
Total trade	37
Winning trade	33
Losing trade	4
Percent profitable	89%
Max winning trade	136,80 €
Average winning trade	51,23 €
Max losing trade	-68,56 €
Average losing trade	-26,35 €
Gross Profit	1.690,56 €
Gross Loss	-105,40 €
Total net profit	1.585,16 €

Tabella 1 TS 2019

Le quattro operazioni chiuse in negativo hanno causato una perdita di profitto pari 105,40 € e con una media quindi di 26,35 € per *trade*.

Nel grafico seguente (Fig. 4.3) è rappresentata l'*Equity Line*, la curva dei profitti e delle perdite realizzate nel tempo dal *trading system* analizzato. Si tratta di un grafico che mostra il *trend* dei guadagni e permette di capire in modo semplice e intuitivo la costanza e l'affidabilità del sistema di *trading*.

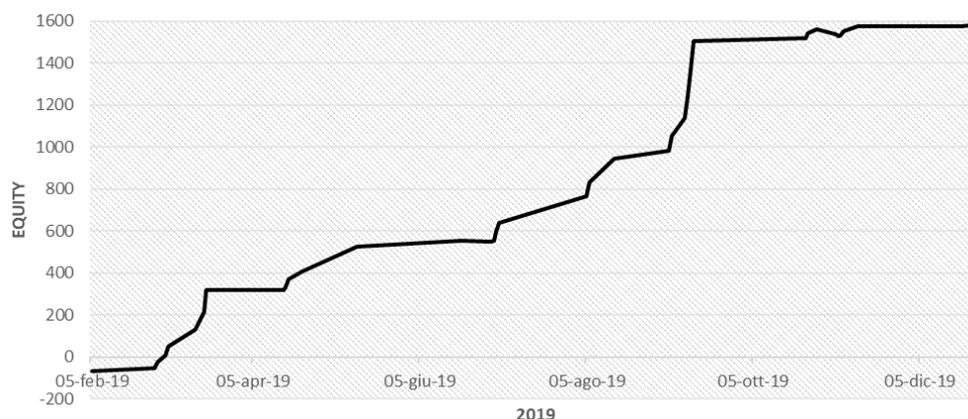


Fig.4.3 EQUITY LINE_2019

La linea dell'Equity del 2019 generata dall'applicazione delle semplici regole di negoziazione, non contiene all'interno grossi picchi negativi e cresce in modo abbastanza regolare. Si può quindi concludere che questo sistema di *trading* porta ad un incremento costante del profitto ed è quindi sufficientemente affidabile.

Se invece si applica lo stesso insieme di regole ma con l'aggiunta di uno *stop loss* percentuale pari a 0.5% e 1.5% del prezzo di apertura della posizione, si sono verificati i seguenti scenari:

Trading System Stop Loss 0.5% 2019	
Total trade	37
Winning trade	18
Losing trade	19
Percent profitable	49%
Max winning trade	117,78 €
Average winning trade	44,43 €
Max losing trade	-18,88 €
Average losing trade	-17,47 €
Gross Profit	799,77 €
Gross Loss	-331,96 €
Total net profit	467,81 €

Tabella 2 – TS 2019 SL 0.5%

Trading System Stop Loss 1.5% 2019	
Total trade	37
Winning trade	29
Losing trade	8
Percent profitable	78%
Max winning trade	136,80 €
Average winning trade	48,02 €
Max losing trade	-52,75 €
Average losing trade	-36,79 €
Gross Profit	1.392,46 €
Gross Loss	-294,34 €
Total net profit	1.098,12 €

Tabella 3 – TS 2019 SL 1.5%

Come affermato in precedenza, stabilire il corretto posizionamento dello *stop loss* è fondamentale per implementare un buon *trading system*. Abbassando la soglia dello stop si può incorrere quindi in chiusure premature ed errate della posizione. E' quindi opportuno modulare il livello di questo strumento con un *trade-off* tra la massima perdita che si è disposti a subire e la possibilità di aumentare il numero di operazioni negative.

Le strategie applicate con *stop loss* rispettivamente pari al 0.5% e 1.5% del prezzo di apertura della posizione evidenziano un peggioramento delle *performance*. La percentuale di operazioni vincenti scende rispetto a quella ottenuta con una strategia senza *stop loss* o con uno stop più elevato.

Anche se la perdita media e massima risultano minori, essendo il numero di *trade* negativi maggiore rispetto agli altri sistemi (o addirittura superiore con uno *stop loss* del 0.5%), la perdita totale aumenta; di conseguenza il profitto netto crolla.

Impostando invece uno stop pari al 4% (Tab.4) ci si tutela dalle possibili perdite ma senza intaccare i *trade* profittevoli.

In questo caso specifico non si evidenziano differenze rispetto alla semplice strategia di *trading* applicata agli stessi dati. Questo perché le perdite subite nell'anno considerato non sono particolarmente elevate.

Trading System Stop Loss 4% 2019	
Total trade	37
Winning trade	33
Losing trade	4
Percent profitable	89%
Max winning trade	136,80 €
Average winning trade	51,23 €
Max losing trade	-68,56 €
Average losing trade	-26,35 €
Gross Profit	1.690,56 €
Gross Loss	-105,40 €
Total net profit	1.585,16 €

Tabella 4 – TS 2019 SL 4%

Anno 2020

Noto il crollo subito dai mercati nel 2020 a causa del COVID-19 (Fig. 4.3), si è attuato lo stesso *trading system* implementato per l'anno precedente (Tab.5).



Fig.4.5 Eurostoxx50_2020

Trading System 2020	
Total trade	20
Winning trade	14
Losing trade	6
Percent profitable	70%
Max winning trade	414,32 €
Average winning trade	173,79 €
Min losing trade	-772,37 €
Average losing trade	-388,62 €
Gross Profit	2.433,08 €
Gross Loss	-2.331,73 €
Total net profit	101,35 €

Tabella 5 – TS 2020

Il 2020 è stato quindi caratterizzato da un crollo imprevedibile di circa 1500 punti, che ha portato a gravi perdite di profitto per un ammontare pari a 2.331,73 €.

Il sistema di *trading* che per l'anno 2019 ha ottenuto buoni risultati, per il 2020 si è chiuso partendo anche in questo caso da un portafoglio vuoto, con un profitto di soli 101.35 €, notevolmente più basso rispetto ai ricavi netti di 1.585.16 € del 2019. Il rapporto tra operazioni profittevoli e totali è diminuito al 70%; ciò significa che questa strategia di negoziazione ha individuato 6 operazioni perdenti su 20. La gran parte di queste però si sono collocate ad inizio anno ed hanno influito negativamente sul guadagno totale, come si può notare dal grafico dell'*Equity Line* (Fig.4.4). La curva evidenzia però anche, a partire dal mese di marzo 2020, un *trend rialzista* segno che il sistema di *trading* è riuscito a cogliere i momenti profittevoli di entrata e di uscita dal mercato. I *trade* vincenti hanno portato infatti ad un guadagno totale pari a 2.433,08 €.



Fig.4.6 EQUITY_2020

Anche per l'anno 2020 si è dunque testata la stessa strategia con uno *stop loss* percentuale del 0.5%, 1.5%; 4% e 5%.

Trading System Stop Loss 0.5% 2020	
Total trade	20
Winning trade	9
Losing trade	11
Percent profitable	45%
Max winning trade	414,32 €
Average winning trade	173,13 €
Max losing trade	-17,86 €
Average losing trade	-15,27 €
Gross Profit	1.558,14 €
Gross Loss	-167,94 €
Total net profit	1.390,20 €

Tabella 6 – TS 2020 SL 0.5%

Trading System Stop Loss 1.5% 2020	
Total trade	20
Winning trade	10
Losing trade	10
Percent profitable	50%
Max winning trade	414,32 €
Average winning trade	163,86 €
Max losing trade	-53,59 €
Average losing trade	-45,47 €
Gross Profit	1.638,57 €
Gross Loss	-454,73 €
Total net profit	1.183,84 €

Tabella 7 – TS 2020 SL 1.5%

Trading System Stop Loss 4% 2020	
Total trade	20
Winning trade	13
Losing trade	7
Percent profitable	65%
Max winning trade	414,32 €
Average winning trade	148,19 €
Max losing trade	-142,90 €
Average losing trade	-123,87 €
Gross Profit	1.926,53 €
Gross Loss	-867,11 €
Total net profit	1.059,42 €

Tabella 8 – TS 2020 SL 4%

Trading System Stop Loss 5% 2020	
Total trade	20
Winning trade	13
Losing trade	7
Percent profitable	65%
Max winning trade	414,32 €
Average winning trade	148,19 €
Max losing trade	-178,63 €
Average losing trade	-154,84 €
Gross Profit	1.926,53 €
Gross Loss	-1.083,89 €
Total net profit	842,64 €

Tabella 9 – TS 2020 SL 5%

Da queste tabelle riassuntive si riconferma dunque che al diminuire della percentuale dello *stop loss* la perdita totale, media e massima del sistema di *trading* si riducono. Tuttavia, come detto in precedenza, anche le operazioni vincenti calano e di conseguenza anche il *Gross Profit* (tabelle 6,7).

Confrontando le tabelle 8 e 9, si sottolinea un aumento della perdita media e lorda con una conseguente diminuzione del *net profit*, provocato da operazioni chiuse con quotazioni in forte calo rispetto al prezzo di apertura. Si può notare inoltre che, sebbene il rapporto tra i *trade* vincenti e totali con uno *stop loss* al 4% ed al 5% sia lo stesso, la perdita totale invece aumenta con un livello di stop maggiore.

Di seguito è riportata la curva dei profitti (Fig. 4.7) con lo *stop loss* al 4%, che, considerando il *trade-off* tra maggiore profittabilità e aumento della perdita, risulta la percentuale più adeguata del prezzo di apertura della posizione.

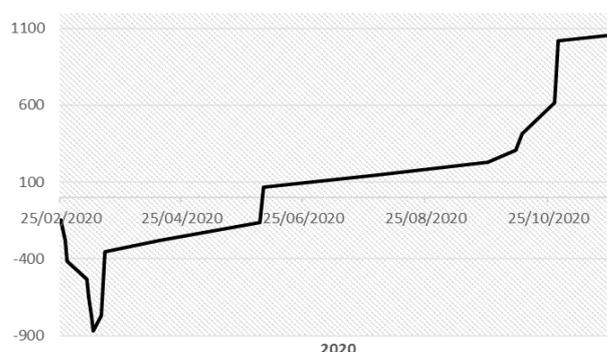


Fig.4.7 EQUITY SL 4%_2020

Questo grafico mostra una caduta del profitto netto iniziale relativamente contenuta se confrontata con quella del *trading system* senza *stop loss* (Fig. 4.6).

Impostando quindi un livello adeguato di perdita massima per ogni singola operazione si riduce l'impatto del crollo della quotazione, mantenendo però un elevato numero di *trade* vincenti.

Nel 2020 dunque risultano evidenti i vantaggi di uno strumento di gestione del rischio come lo *stop loss*. Infatti, per tutte le percentuali dello *stop loss* analizzate nel 2020, il profitto netto subisce un considerevole aumento rispetto al sistema

senza *stop loss* poiché, le perdite dovute alla ricaduta dei prezzi ad inizio anno sono ingenti (la perdita massima subita è infatti pari a 772,37 €).

4.2.4 Altre possibili strategie

Strategia operativa basata su medie mobili

Per una strategia vincente non sono necessari grandi strumenti, posso bastare anche solo tre medie mobili esponenziali a 6, 12, 24 periodi calcolate sul prezzo di chiusura. La media mobile è il più semplice degli indicatori *trend-follower*.

Se la media più veloce (a 6 periodi) supera la seconda (a 12) e contemporaneamente quest'ultima è maggiore della più lenta (a 24) viene fornito un segnale di apertura della posizione *long*; se invece la media a 6 periodi scende al di sotto di quella a 12 e nello stesso momento questa è inferiore alla più lenta (a 24) scatta un segnale di entrata al ribasso (posizione *short*).

L'uscita dalla posizione lunga avviene se la media a 6 scende sotto quella a 12; mentre la chiusura della posizione corta si ha quando la media veloce sale al di sopra della media di ampiezza 12.

Come esempio dell'applicazione di questa strategia, sono stati presi i valori dell'indice Eurostoxx50 del mese di settembre 2020.

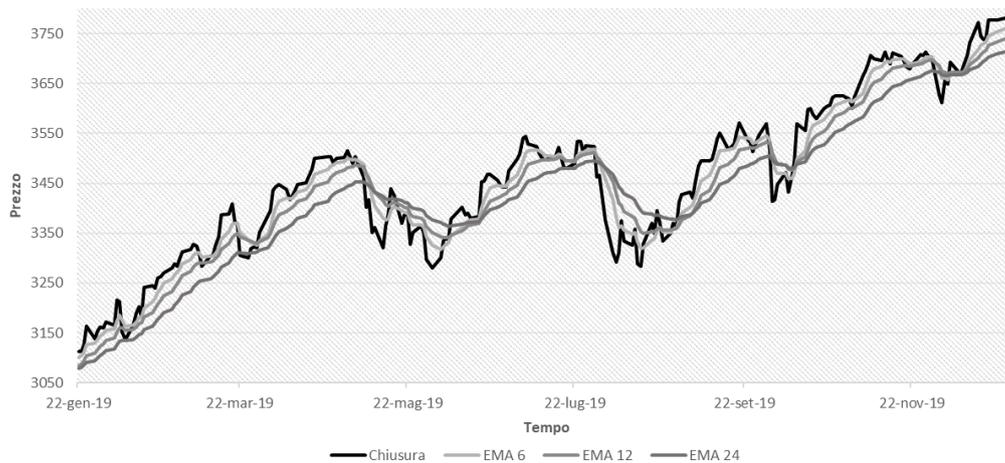


Fig.4.2 Eurostoxx50_2019 –EMA

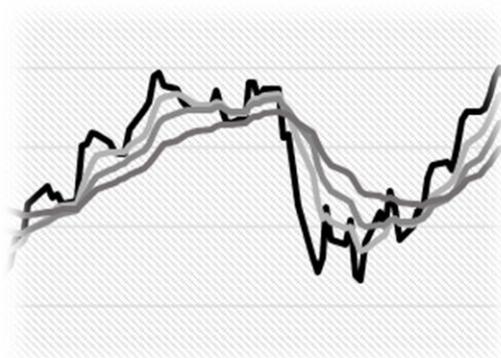


Fig.4.3 Ingrandimento Eurostoxx50_2019 –EMA

Si osserva in modo particolare che quando i prezzi scendono al ribasso, le medie mobili, anche se con un leggero ritardo, si incrociano e la media più lenta si porta sopra quelle più veloci, fornendo un segnale di chiusura della posizione short.

Strategia basata su volumi e momentum

Il Momentum indica la forza del mercato in un certo arco temporale, misurando il tasso di variazione dei prezzi. Una possibile strategia basata su questo oscillatore comporta il calcolo di una media mobile esponenziale (EMA_5) del prodotto tra il

Momentum ad un giorno (M_1) ed i volumi di mercato. Se questo valore è positivo, viene fornito un segnale di entrata *long*; se è negativo scatta un avviso di entrata al ribasso. L'uscita da una posizione si realizza quando si riceve un segnale opposto. Nel grafico seguente è riportato il prezzo di chiusura (Fig. 4.4 – linea continua) e il valore ottenuto dall'EMA a cinque periodi (Fig. 4.4 – linea tratteggiata).

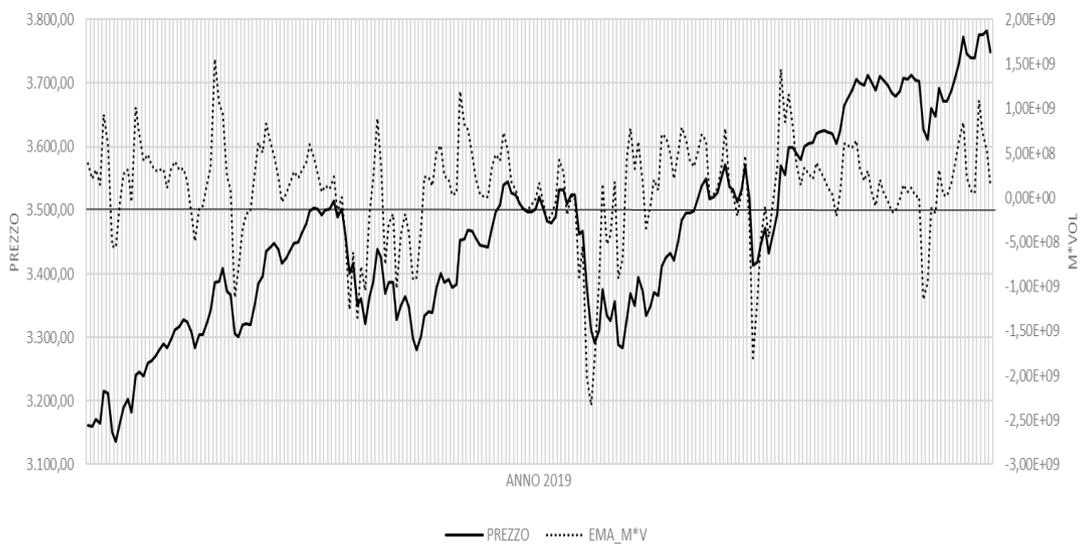


Fig.4.4 Eurostoxx50_2019 – M*VOL

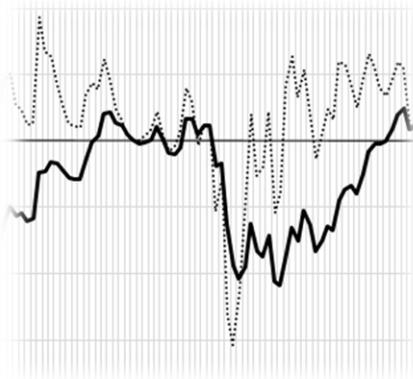


Fig.4.5 Ingrandimento Eurostoxx50_2019 –M*VOL

Dall'ingrandimento del grafico precedente (Fig. 4.4) si può osservare infatti come la linea tratteggiata sia molto reattiva e si porta al di sopra o al di sotto della linea dello zero in base rispettivamente agli aumenti o alle diminuzioni della quotazione di chiusura.

Capitolo 5 – Applicazione delle Reti Neurali in Matlab

Matlab ha a disposizione un *Tool* chiamato *Neural Networks Toolbox* che include molte funzioni per la progettazione e l'implementazione di reti neurali profonde con algoritmi.

In questo progetto di tesi sono stati applicati due differenti tipi di reti neurali: la rete NARX, adatta alla previsione di serie temporale, e la rete PATTERN RECOGNITION AND CLASSIFICATION, indicata appunto per la classificazione e il riconoscimento di *pattern*.

Il *dataset* utilizzato è lo stesso per entrambe le tipologie di rete.

5.1 Definizione della rete

La struttura della rete neurale è sicuramente la procedura che ricopre maggiore importanza nel processo. La scelta del numero degli strati e la numerosità dei neuroni, incide in maniera importante nella capacità di adattamento del modello e nei tempi di elaborazione.

Un modello complesso tende ad avere buone performance nei dati di *training*, ma rischia di generalizzare in maniera poco efficace quando si trova ad elaborare osservazioni non presenti nella fase di addestramento; un modello troppo semplice, invece, potrebbe non catturare le componenti non lineari all'interno dei dati e perdere di efficacia in termini di previsione.

Lo strato di ingresso è costituito da x neuroni pari al numero di input della rete, quello di output è composto da y neuroni pari al numero di output desiderati; se però i dati in input sono pochi l'interpolazione è molto povera; se sono troppi vi è il rischio di prendere in considerazione anche il rumore e di avere quindi scarsi risultati. Alzando infatti di troppi ordini il grado del polinomio con cui si interpolano i dati, si può incorrere nel fenomeno, già citato precedentemente, di *overfitting*, il quale ha funzione d'errore uguale a zero, ma dà risultati molto scarsi riguardo la predizione di nuovi dati, non essendo la rete in grado di imparare con i nuovi input.

Se invece si diminuiscono i gradi di libertà del suddetto polinomio la funzione d'errore riguardante i dati di addestramento (*training set*) si avvicina allo zero, mentre quella riguardante i dati di test a un certo punto inizia a salire. I gradi di libertà sono in relazione al numero di *hidden layer* della rete.

La configurazione dell'architettura avviene pertanto a passi progressivi, partendo da reti semplici con un solo strato nascosto ed un numero limitato di neuroni, incrementandone progressivamente la complessità.

L'*hidden layer*, che costituisce il vero motore della rete, può essere formato da uno o più strati ed è costituito da m neuroni, i quali sintetizzano le informazioni in ingresso per fornire gli *output*. Occorre trovare però, per evitare l'*overlearning*, un giusto *trade-off* tra un numero troppo basso o troppo elevato di unità nascoste.

Un solo strato nascosto è sufficiente ad approssimare funzioni non lineari con elevato grado di accuratezza; questo però richiede un elevato numero di neuroni, limitando il processo di apprendimento. Di solito un numero di *hidden layer* superiore a tre non produce miglioramenti nei risultati ottenuti dalla rete.

5.1.1 Dataset

Lo storico dei dati comprende un periodo che va dal 30 settembre 2010 al 30 dicembre 2020. Tuttavia i valori forniti alla rete partono dall'8 dicembre 2010 dato che sono stati adoperati alcuni dati iniziali per ottenere i differenti indicatori.

Per ogni rete il *dataset* è stato suddiviso in tre sottoperiodi, i quali determinano l'ambito di apprendimento e di valutazione. Il primo sottoinsieme è l'insieme di addestramento o *training set*, che viene utilizzato per calcolare il gradiente, aggiornare i pesi e le distorsioni della rete.

Il secondo è il cosiddetto set di convalida o *validation set*, che risolve il problema dell'*overfitting*. La rete neurale viene addestrata usando solo i dati di *training*, ma tale allenamento viene fermato periodicamente per testare sull'insieme di validazione le performance della rete che è stata definita. Questo *set* non modifica i pesi ma ha l'obiettivo di valutare la generalizzazione.

L'ultimo, il *test set*, non ha effetto nell'addestramento e provvede a fornire una misura indipendente delle prestazioni della rete durante e dopo la fase di *training*.

La suddivisione di *default* di Matlab del *dataset* tra *training*, *validation* e *test set* risulta essere rispettivamente 70%, 15% e 15%.

Input

La rete neurale apprende ricevendo come input i diversi indicatori tecnici in modo da segnalare una possibile inversione di tendenza o la presenza di un *trend*, ribassista o rialzista.

Per poter avvalersi del contributo informativo di determinati tipi di dati caratterizzati da elevata rumorosità è necessario l'utilizzo di trasformazioni che non alterino la dinamica del fenomeno. Se si desidera istruire la rete a riconoscere i *pattern* della serie storica è necessario ricorrere a opportune modifiche.

Per rendere quindi le prestazioni migliori di una rete neurale occorre convertire gli input in una nuova rappresentazione. Una soluzione tipica di trasformazione dei dati in ingresso è la normalizzazione in modo da avere media nulla e varianza unitaria.

Gli input x_i della rete diventano quindi:

$$x_i^N = \frac{x_i - \bar{x}}{s}$$

Dove \bar{x} è la media e s la deviazione standard della serie storica analizzata composta da n dati:

$$\bar{x} = \frac{\sum_1^n x_i}{n} \quad s^2 = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

In questo progetto, per l'addestramento sono stati forniti i seguenti indicatori in input:

1. Media mobile esponenziale a 3 periodi
2. Media mobile esponenziale a 6 periodi
3. Media mobile esponenziale a 12 periodi
4. Media mobile esponenziale a 24 periodi
5. Media mobile esponenziale a 50 periodi
6. Momentum a 1 giorno
7. Momentum a 14 giorni
8. RSI a 14 giorni
9. RSI a 5 giorni
10. MACD *Differential Line*
11. Prezzo chiusura / prezzo chiusura del giorno precedente
12. Prezzo minimo a 14 giorni
13. Prezzo massimo a 14 giorni
14. Stocastico %Ks a 14 giorni
15. Stocastico %Ds a 14 giorni

Target NARXNET

I target della rete NARX sono i valori dei prezzi di chiusura, dall'8 dicembre 2010 al 30 dicembre 2020, normalizzati.

Target Pattern Recognition and Classification Neural Network

In questa rete i valori target sono i segnali *long*, *short* e *do_nothing* derivanti dalla strategia di *trading* descritta del capitolo precedente, relativa alla combinazione degli indicatori tecnici RSI e stocastico.

Per ogni giornata borsistica si è determinata l'azione da compiere. I valori *target* forniti sono quindi dei vettori composti da tre elementi:

- $(1,0,0)$ – segnale *long*

- (0,1,0) – segnale *do_nothing*
- (0,0,1) – segnale *short*

5.1.2 Addestramento

In ogni addestramento della rete neurale non è possibile che l'errore converga esattamente a zero, sono perciò necessari dei criteri per fermare l'allenamento stesso.

Il più semplice è interrompere l'allenamento dopo un numero fisso di iterazioni (dette *epoch*). Un altro criterio consiste nel controllare il valore del gradiente dell'indice di performance e fermare l'allenamento al momento che quest'ultimo non raggiunge una certa soglia. Un terzo criterio è l'*early stopping*; in questo caso l'addestramento si blocca non appena l'errore sul *validation set* cresce per un numero prefissato di iterazioni, contribuendo ad evitare il problema dell'*overfitting*.

5.2 NARXNET

La rete NARX (Nonlinear Autoregressive with External (Exogenous) Input – Fig. 5.1) è una rete dinamica ricorrente con connessioni di *feedback* che racchiudono diversi livelli della rete ed è la tipologia di rete che più si adatta alle serie storiche.

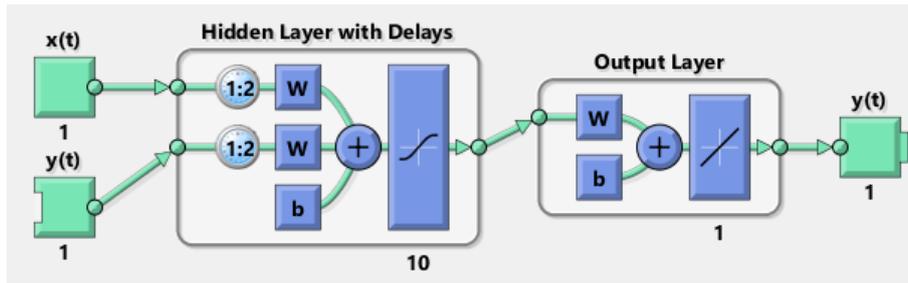


Fig.5.1 NARXNET

La rete NARX prevede l'output $y(t)$ dati d valori di $y(t)$ e d valori degli input $x(t)$:

$$y(t) = f(x(t-1) \dots x(t-d), y(t-1) \dots y(t-d))$$

d è il numero di *delay* numero arbitrario ($d = 2$ default di Matlab).

5.2.1 Train

Per prima cosa si sono caricati i dati normalizzati di Input, ossia i 15 indicatori tecnici, e il dato Target, prezzo di chiusura giornaliero, relativi al periodo dal 30 settembre 2010 al 30 novembre 2020 (Fig. 5.2).

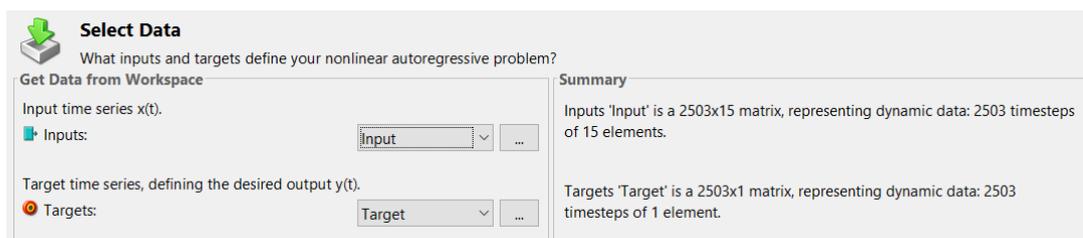


Fig.5.2 Input e Target

Successivamente si è selezionata la percentuale dei 3 sottoinsiemi dello storico dei dati. In questo caso si sono lasciati i valori di *default* di Matlab.

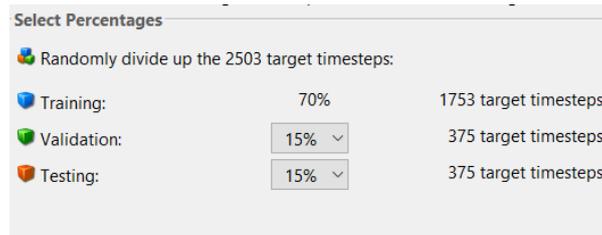


Fig.5.3 Divisione del dataset

Per la scelta del numero degli *hidden neuron* si è deciso di addestrare la rete inizialmente con solo 10 neuroni per poi creare altre reti, con stessi valori di input e target, ma con una quantità di neuroni nascosti pari a 50 e 100.

Per effettuare l'addestramento di questa rete è stato utilizzato l'algoritmo Levenberg-Marquardt (*trainlm*), che in genere richiede più memoria ma meno tempo. La fase di *training*, in questo caso, si interrompe automaticamente quando la generalizzazione non porta più ad un miglioramento; questo è indicato da un aumento dell'errore quadratico medio del *validation set*.

5.2.2 Indicatori

Le seguenti tabelle (5.1, 5.2, 5.3) mostrano i valori dei due indicatori di performance MSE (Mean Squared Error) e R (Regeression) relativi alle reti addestrate con 10,50 e 100 *hidden neuron*.

10 hidden neuron	MSE	R
Training set	0.0074	0.9963
Validation set	0.0093	0.9957
Test set	0.0094	0.9950

Tabella 5.1 – 10 HN

50 hidden neuron	MSE	R
Training set	0.0055	0.9971
Validation set	0.0124	0.9941
Test set	0.0107	0.9952

Tabella 5.2 – 50 HN

100 hidden neuron	MSE	R
Training set	0.0036	0.9983
Validation set	0.0161	0.9922
Test set	0.0173	0.9925

Tabella 5.3 – 100 HN

L'errore quadratico medio (MSE) è dato dalla differenza quadratica media tra output e target. Zero significa nessun errore; valori più bassi di MSE quindi indicano una migliore prestazione della rete.

Il coefficiente R misura invece la correlazione tra output e target. Un valore R pari a 1 denota una relazione stretta, 0 una relazione casuale.

Dato che le tre reti presentano valori abbastanza vicini, sia per MSE che per il coefficiente di regressione R, si è scelto di utilizzare un numero di neuroni pari a 10 (numero di *default*), in quanto non si sono riscontrate particolari differenze di prestazione tra le reti. Inoltre i valori di errore e di regressione della rete con dieci neuroni sono risultati adeguati.

Grafici

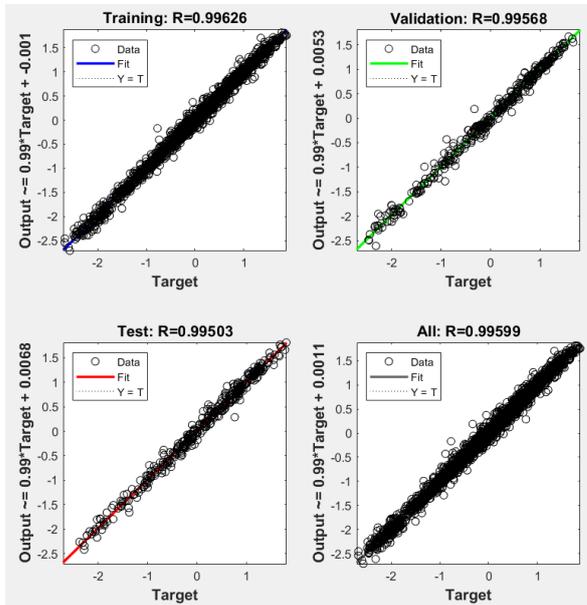


Fig.5.4 Regressione

Nei grafici in Fig. 5.4 sono raffigurati i punti nel piano target – output per i dati di *training*, di *validation* e di *test*. R è il coefficiente di correlazione tra questi dati. L'ultimo grafico mostra la distanza tra i valori di output e i valori target per il *dataset* completo. E' possibile verificare che la maggior parte dei risultati siano

accurati, poiché sono quasi disposti tutti sulla *fit line*.

La Figura 5.5 mostra che gli errori di addestramento e convalida diminuiscono fino all'iterazione evidenziata, in questo caso *epoch* 9. Non sembra che si sia verificato alcun *overfitting*, perché l'errore del *validation set* (MSE 0.0093) non aumenta prima di questa *epoch*.

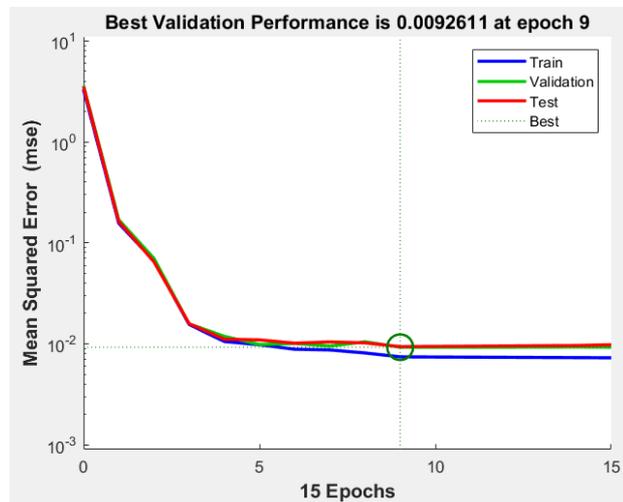


Fig.5.5 Performance

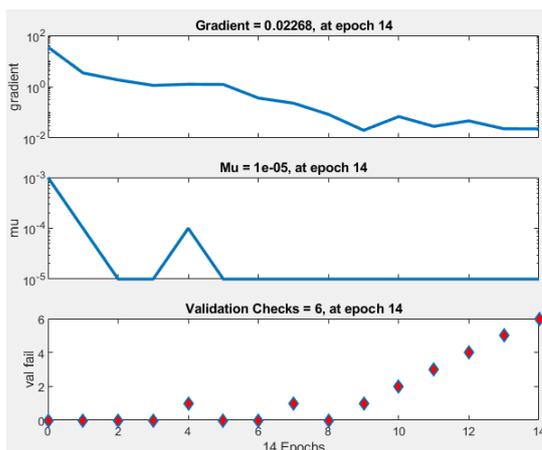


Fig.5.6 Training state

I grafici in Fig. 5.6 mostrano in particolare l'andamento del gradiente e il numero di *validation fail* nelle varie iterazioni. Per evitare che la rete abbia prestazioni scadenti su dati non appartenenti al *training set*, l'addestramento si interrompe se le prestazioni di convalida decadono per

6 *epoch* consecutive (6 – valore di default). Questa procedura è chiamata *validation stopping*. Fissando dunque un limite a questo valore si previene un possibile *overfit* del modello.

L'*error histogram* (grafico 5.7) calcola i valori di errore come differenza tra i valori target e quelli previsti. Il grafico assegna le osservazioni a 20 classi, sulla base del

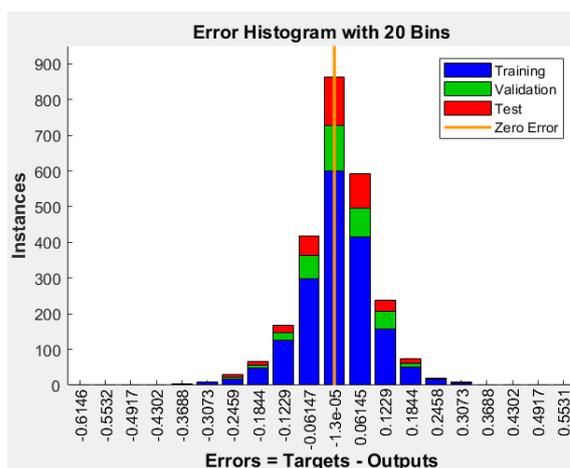


Fig.5.7 Classi di errore

valore dell'errore, riportate sull'asse delle ascisse; sull'asse delle ordinate è indicato il numero delle osservazioni che ricadono in quella classe. La linea di errore zero in questo caso cade sotto il *bin* con il centro dell'intervallo della classe pari a 0,00001. Se gli errori sono

concentrati maggiormente nelle classi positive significa che l'output del modello è

inferiore al *target*, al contrario se gli errori sono concentrati prevalentemente nelle classi negative significa che la rete ha sovrastimato il risultato.

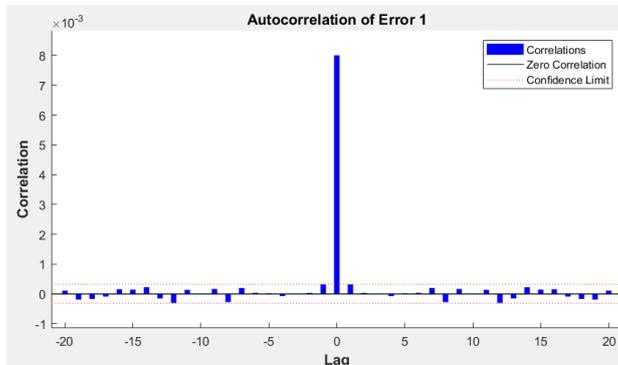


Figura 5.8 – autocorrelazione degli errori

L'ultimo grafico mostra come gli errori di previsione sono correlati nel tempo. Per un modello di previsione perfetto, gli errori di previsione dovrebbero essere

completamente non correlati tra loro. Dovrebbe quindi esserci un solo valore diverso da zero della funzione di autocorrelazione a *zero lag*. In questo caso le correlazioni, ad eccezione di quella a *zero lag*, rientrano approssimativamente entro i limiti di confidenza del 95% intorno allo zero. Il modello sembra perciò essere adeguato.

5.2.3 Output

Tutte le volte che una rete neurale viene addestrata può essere creato un output differente a causa di diversi valori dei pesi iniziali e delle differenti divisioni dei dati tra i set di addestramento, convalida e di test. Di conseguenza, diverse reti neurali addestrate sullo stesso problema possono fornire output diversi per lo stesso input. Perciò, per garantire che sia stata trovata una rete neurale di buona precisione, occorre riaddestrare più volte e ricavare il risultato finale con la media degli output ottenuti. Per ricavare quindi i valori di output finali (Fig. 5.8, 5.9), la rete è stata addestrata 10 volte.

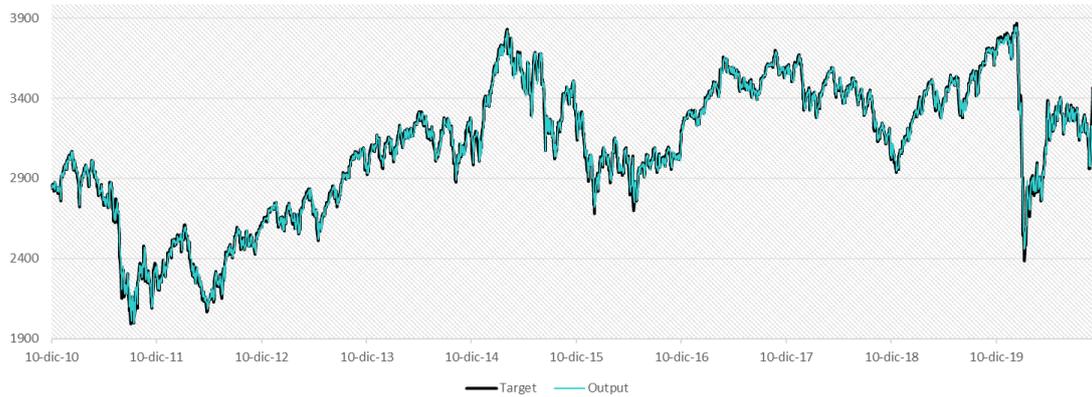


Figura 5.9 – Output – Target 2010-2020



Figura 5.10 – Output – Target 2020

Dai grafici precedenti si può osservare che gli output ottenuti dalla rete seguono l'andamento del prezzo di chiusura reale; il modello costruito risulta quindi accurato.

La previsione finanziaria è però condizionata anche dalla capacità del modello di individuare per tempo le inversioni cicliche del fenomeno. Questa caratteristica si può verificare per prima cosa su base grafica (Fig. 5.10). Confrontando infatti il valore reale dei prezzi con quello stimato dalla rete nella fase di *test*, si osserva che i risultati di previsione si avvicinano molto ai prezzi reali, ma che la rete apprende l'inversione di tendenza con un leggero ritardo.

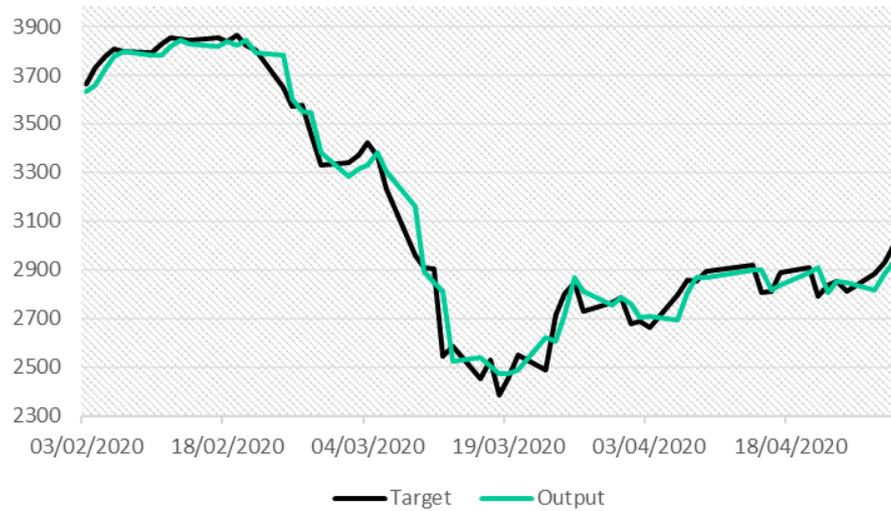


Figura 5.11 – Ingrandimento febbraio/aprile 2020

5.2.4 Trading system

Gli output della rete sono stati utilizzati per creare un *trading system* molto semplice basato su queste regole:

- se il prezzo di chiusura previsto al tempo $t + 1$ è maggiore del prezzo previsto al tempo t , allora viene fornito un segnale di entrata *long* sul mercato
- se il prezzo di chiusura previsto al tempo $t + 1$ è invece minore del prezzo previsto al tempo t , allora si apre una posizione *short*

L'uscita della posizione avviene a fine della giornata successiva ($t + 1$.) La seguente tabella mostra i risultati della strategia delineata.

Trading System Reti Neurali 2020	
Total trade	230
Winning trade	115
Losing trade	115
Percent profitable	50%
Max winning trade	360,33 €
Average winning trade	48,39 €
Min losing trade	-229,57 €
Average losing trade	-37,79 €
Gross Profit	5.564,69 €
Gross Loss	-4.345,99 €
Total net profit	1.218,70 €

Tabella 5.4 – TS rete neurale 2020

Si può quindi osservare che questo elementare sistema di *trading* richiede un'elevata precisione che la rete non riesce a fornire. Le operazioni vincenti costituiscono solo la metà dei *trade* totali (*percent profitable* 50%); questo è dovuto al fatto che la rete non cattura istantaneamente le inversioni di tendenza.

5.2.5 Previsione su nuovi dati

La rete precedente è stata creata e addestrata nella forma *open-loop*, ossia con supervisione. Essendo infatti note alla rete le variabili target, questa si rivela molto efficiente nel produrre l'*output* finale.

Differente è invece la forma *closed-loop* (Fig.5.10).

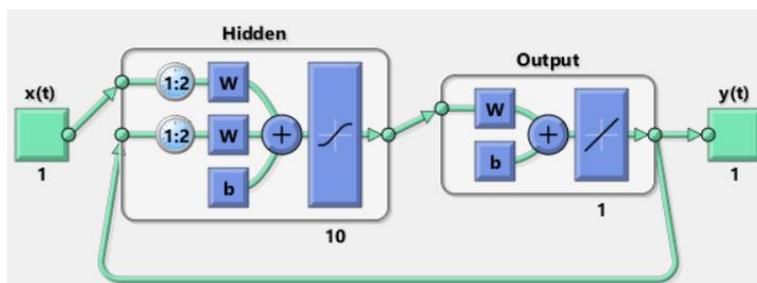


Figura 5.12 – Closed-loop net

La funzione *closed-loop* sostituisce gli input di *feedback*, ossia i valori *target* utilizzati per ottenere la previsione, con una connessione diretta con gli output prodotti dalla rete.

Per prevedere il prezzo su nuovi dati di input la rete *open-loop*, addestrata in precedenza, è stata quindi convertita nella forma chiusa. Il risultato non è accurato come quello ottenuto dalla rete precedente ma può rivelarsi utile per previsioni *multi-step*.

Sono stati dunque forniti come input i valori dei 15 indicatori tecnici normalizzati del mese di dicembre 2020. I prezzi reali di chiusura (*target*) non sono stati mostrati alla rete poiché la forma *close-loop* utilizza gli output ottenuti come *feedback* interno.

Il confronto tra gli output, ricavati dalla media aritmetica di 10 risultati della rete, e il prezzo di chiusura reale dell'Eurostoxx50 nel mese di dicembre, è riportato in figura (Fig. 5.11).



Figura 5.13 – Output dicembre 2020

Dal grafico si può osservare che i valori restituiti dalla rete *closed-loop* seguono il prezzo nelle sue oscillazioni, sempre con un andamento più morbido e lievemente differito.

La rete NARX riesce dunque a prevedere, anche con i soli dati di input, il prezzo dell'Eurostoxx50 con un certo grado di accuratezza; tuttavia ciò non è sufficiente per creare un *trading system ad hoc* basato sui valori degli output.

Per cercare di capire quindi il momento opportuno per entrare nel mercato, si è addestrata una seconda rete, la rete *Pattern recognition & classification*.

5.3 Pattern recognition & classification net

Nei problemi di riconoscimento dei modelli una rete neurale deve raggruppare gli input in un insieme di categorie di destinazione.

Una rete *feed-forward* con un numero sufficiente di neuroni nello strato nascosto (*hidden layer*) può classificare i vettori in modo adeguato.

Questa tipologia di rete è addestrata con la funzione *trainscg* che aggiorna i valori di peso e i *bias* attraverso l'algoritmo di *backpropagation* con il metodo del gradiente coniugato scalato.

L'obiettivo di questa seconda rete è quello di fornire indicazioni sull'azione di *trading*, ossia acquistare (*long*), vendere (*short*) o non fare alcuna operazione (*do_nothing*).

Per fare questo è stato suddiviso in tre finestre temporali lo storico dell'Eurostoxx50 (Fig.5.12).

Il primo *dataset* comprende gli anni da fine 2010 a fine 2015; il secondo include gli anni 2014 – 2018; ed infine il terzo copre gli anni 2016 – 2020.

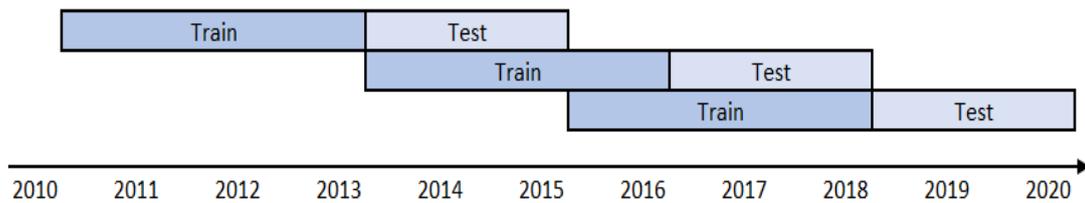


Figura 5.14 – Le 3 finestre temporali

5.3.1 Train

Per ogni arco temporale considerato è stata addestrata una rete (Fig. 5.13) avente come input i 15 indicatori tecnici normalizzati e come target i segnali *long*, *short* e *do_nothing* derivanti dalla strategia di *trading* con RSI e stocastico.

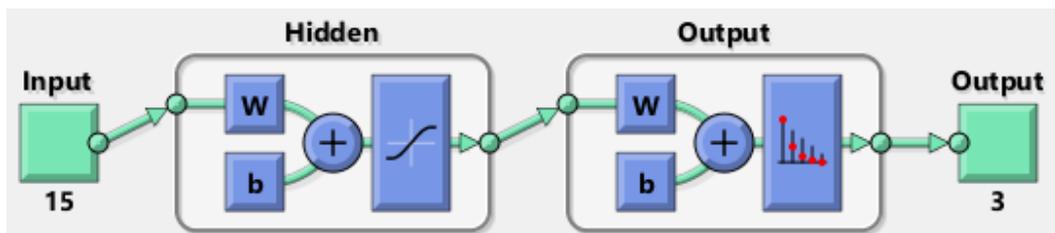


Figura 5.15 – Patternet

I dati dei tre *dataset* sono stati suddivisi tra la fase di *training* e quella di *testing*. Il periodo di addestramento comprende i primi tre anni di ogni finestra temporale, gli altri due anni sono stati utilizzati per confrontare gli output ottenuti dalla rete con i risultati reali.

5.3.2 Indicatori

Dato che le curve ROC e le matrici di confusione sono risultate simili per tutti i *dataset*, sono state riportate e analizzate soltanto le figure relative all'ultima finestra temporale.

Matrice di confusione



Figura 5.16 – Matrice di confusione

Nel campo del *Machine Learning*, una matrice di confusione (fig. 5.14) è una tabella in cui le righe rappresentano le classi predette (*output*), mentre le colonne rappresentano le classi reali (*target*).

La classe 1 rappresenta il segnale di apertura di una posizione *long*, la classe 2 non fornisce alcun segnale di acquisto ed infine la classe 3 provvede un'indicazione di apertura *short*.

Nella diagonale principale sono disposte le osservazioni classificate allo stesso modo dei dati di target; viceversa, quelle previste in modo differente dai valori forniti come classi reali, sono collocate nelle altre celle in base all'incrocio tra la classe di output e quella target.

L'ultima riga e l'ultima colonna contengono infine le percentuali riassuntive dei valori predetti e reali classificati rispettivamente in modo corretto ed errato.

In figura 5.14 sono rappresentate quattro matrici di confusione, una per ogni *set* in cui è suddiviso lo storico dei dati di una finestra temporale ed una del *dataset* completo. Si può notare, soprattutto dall'ultima colonna di ogni tabella, come la corrispondenza delle classi sia rispettata con un'elevata percentuale, superiore al 95%, in tutti i *set*.

Curva ROC (Receiver Operating Characteristic)

La curva ROC è un altro strumento per la valutazione delle prestazioni di un modello di previsione.

Lungo l'asse delle ascisse è rappresentato il *False Positive Rate* (FPR), ossia la probabilità di falso allarme, mentre sull'asse delle ordinate si trova il *True Positive Rate* (TPR), quindi la sensibilità della rete neurale.

Dalla figura seguente (Fig. 5.15) si osserva che, quando la curva ROC delimita la parte superiore del grafico, il classificatore è perfetto; invece un classificatore casuale è rappresentato dalla diagonale.

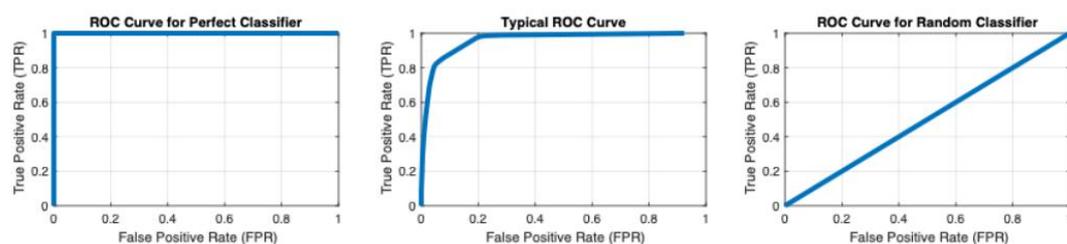


Figura 5.17 – Curva ROC – classificatore perfetto, tipico e casuale

Le curve ROC ottenute con il *dataset* della terza finestra temporale sono rappresentate in Fig. 5.16.

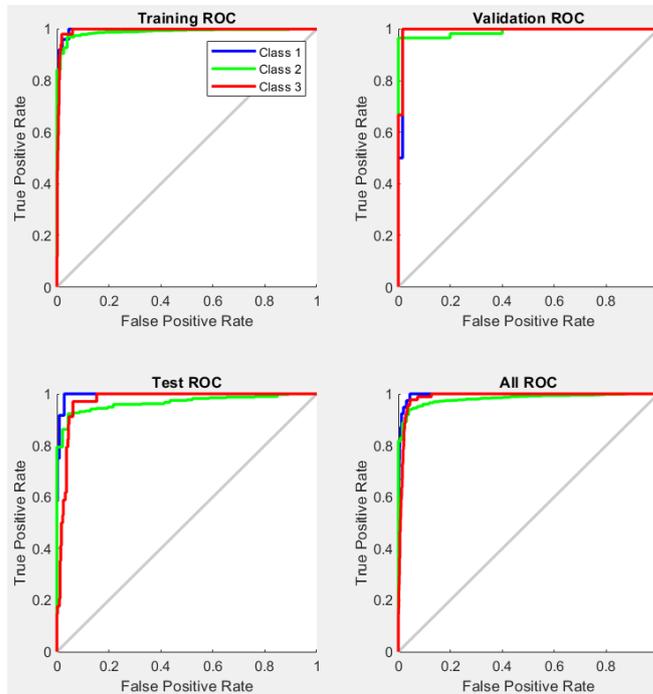


Figura 5.18 – Curva ROC

Anche in questo caso sono rappresentate le curve per il sotto-insieme di *training*, *validation*, *testing* e per tutte le osservazioni.

Le quattro curve mostrano un modello non casuale per tutti i set di dati, dato che non sono sulla diagonale. Questo sistema quindi si può derivare

che la rete abbia trovato delle relazioni tra i dati di input e quelli target nella fase di addestramento e che poi sia riuscita a classificare i valori nella categoria di output più opportuna.

5.3.3 Output

L'output dei tre modelli di classificazione è stato ottenuto dalla media di quattro reti addestrate con gli stessi dati di input e target e con un numero di neuroni pari a 100, 200, 500 e 1000. Questo perché, come detto in precedenza, i valori iniziali dei pesi e di *bias* sono scelti con un certo grado di casualità.

La rete, per ogni giornata borsistica, deve indicare quale azione compiere sul mercato (acquisto, inattività o vendita). L'output risulta quindi un vettore composto da tre elementi. Il modello, però, non genera solo 1 o 0, ma fornisce un valore continuo che rientra nell'intervallo [0,1]; se questo valore è pari o superiore a 0.5 è classificato come 1, al di sotto di quella soglia è identificato invece come 0.

Ogni vettore approssimato presenta quindi due zeri ed un uno in corrispondenza della classe di appartenenza:

- classe 1 – (1,0,0) – segnale *long*
- classe 2 – (0,1,0) – segnale *do_nothing*
- classe 3 – (0,0,1) – segnale *short*

5.3.4 Trading system

L'apertura di una posizione è suggerita dai vettori target (segnali ottenuti applicando la strategia descritta) o output (segnali forniti dalla rete).

La chiusura avviene, per entrambi i sistemi, quando l'RSI, calcolato su un periodo di 5 giorni, o la linea %K dello stocastico *slow* superano la soglia di ipercomprato o ipervenduto, a seconda che l'entrata sul mercato sia stata rispettivamente *long* o *short*.

Nelle seguenti tabelle riassuntive si confrontano, per ogni finestra temporale, i risultati di una strategia di *trading* ottenuta con valori target ed una con le indicazioni fornite dalla rete.

Applicazione della strategia di trading anni 2014-2015

I risultati ottenuti applicando, al biennio 2014-15 della prima finestra temporale, la strategia di *trading* con i segnali di avviso delle variabili target e di output sono riportati nelle seguenti tabelle (5.6, 5.7).

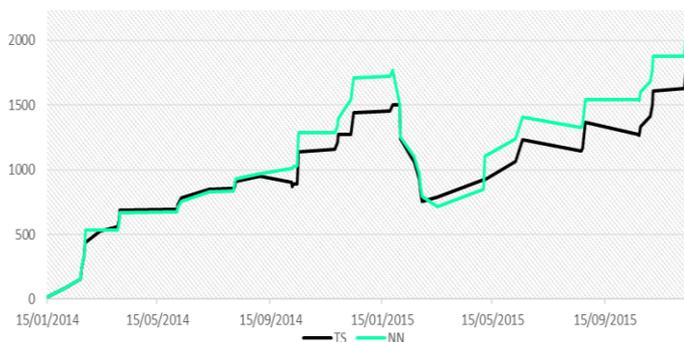
TS Target 2014-15	
Total trade	49
Winning trade	39
Losing trade	10
Percent profitable	80%
Max winning trade	196,24 €
Average winning trade	73,49 €
Min losing trade	-258,52 €
Average losing trade	-100,41 €
Gross Profit	2.866,04 €
Gross Loss	-1.004,11 €
Total net profit	1.861,93 €

Tabella 5.6 TS Target 14-15

TS Output Rete 2014-15	
Total trade	51
Winning trade	42
Losing trade	9
Percent profitable	82%
Max winning trade	196,24 €
Average winning trade	77,61 €
Min losing trade	-259,87 €
Average losing trade	-127,59 €
Gross Profit	3.259,74 €
Gross Loss	-1.148,32 €
Total net profit	2.111,42 €

Tabella 5.7 TS Output 14-15

Confrontando le tabelle, si osserva un lieve miglioramento sia della percentuale di profittabilità che del *Gross Profit* nella strategia basata sugli output della rete. La perdita lorda totale, però, è lievemente maggiore e, come si osserva dalla figura



5.17, il *draw-down*, ossia il massimo crollo di profitto, risulta un po' più marcato.

Figura 5.19 – Confronto Equity Line 14-15 con output e target

Applicazione della strategia di trading anni 2017-2018

TS Target 2017-18	
Total trade	51
Winning trade	35
Losing trade	16
Percent profitable	69%
Max winning trade	100,81 €
Average winning trade	38,03 €
Min losing trade	-64,72 €
Average losing trade	-35,28 €
Gross Profit	1.331,11 €
Gross Loss	-564,54 €
Total net profit	766,57 €

Tabella 5.8 TS Target 17-18

TS Output Rete 2017-18	
Total trade	41
Winning trade	28
Losing trade	13
Percent profitable	68%
Max winning trade	100,81 €
Average winning trade	41,81 €
Min losing trade	-64,72 €
Average losing trade	-32,50 €
Gross Profit	1.170,58 €
Gross Loss	-422,45 €
Total net profit	748,13 €

Tabella 5.9 TS Output 17-18

Nella seconda finestra temporale considerata la rete fornisce 10 indicazioni *do_nothing* in più; ciò porta a una diminuzione del *Gross Profit* compensata però da una *Gross Loss* inferiore, che comporta alla fine un ricavo netto totale marginalmente più basso. Il rapporto tra *trade* vincenti e totali della strategia di negoziazione basata sugli output ottenuti dalla rete risulta essere inferiore inoltre di un punto percentuale.

Osservando la curva dei guadagni netti (Fig. 5.18) si nota che entrambe le linee hanno un *trend* crescente con discreti picchi, positivi e negativi, e che l'*Equity Line* del sistema basato sugli output della rete neurale presenta un *draw-down* lievemente più contenuto che porta ad una perdita media e totale più bassa (tabella 5.9).

Si può concludere quindi che nessuno dei due sistemi sia nettamente preferibile. Infatti anche se il *trading system* ottenuto con i segnali target porta ad un guadagno e ad una percentuale di profittabilità maggiori, la perdita totale del sistema fornito dalla rete risulta inferiore.

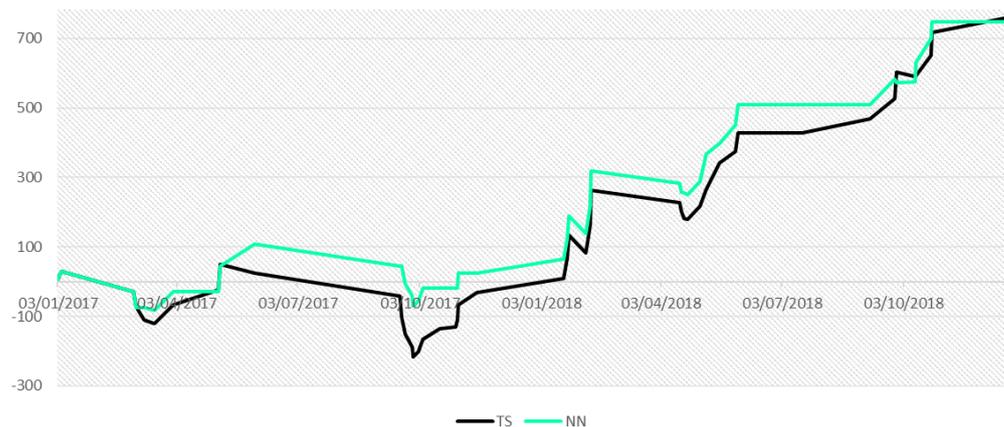


Figura 5.20 – Confronto Equity Line 17-18 con output e target

Applicazione della strategia di trading anni 2019-2020

TS Target 2019-20	
Total trade	57
Winning trade	47
Losing trade	10
Percent profitable	82%
Max winning trade	414,32 €
Average winning trade	87,74 €
Min losing trade	-772,37 €
Average losing trade	-243,71 €
Gross Profit	4.123,64 €
Gross Loss	-2.437,13 €
Total net profit	1.686,51 €

Tabella 5.10 TS Target 19-20

TS Output Rete 2019-20	
Total trade	57
Winning trade	50
Losing trade	7
Percent profitable	88%
Max winning trade	414,32 €
Average winning trade	81,68 €
Min losing trade	-655,78 €
Average losing trade	-243,69 €
Gross Profit	4.083,99 €
Gross Loss	-1.705,85 €
Total net profit	2.378,14 €

Tabella 5.11 TS Output 19-20

Gli output analizzati nell'ultima serie di dati si riferiscono al biennio 2019/2020. Si può subito osservare che il profitto totale, ricavato dai segnali forniti dalla rete, risulta maggiore a fronte di una perdita totale minore. Inoltre, nonostante il rapporto tra *trade* vincenti e totali sia maggiore di sei punti percentuali, i guadagni medi sono leggermente inferiori. Ciò significa che la rete non ha fornito alcuni segnali profittevoli, cosa che invece ha catturato il sistema basato sui vettori target.

Dal grafico dei profitti (5.18) è evidente il marcato *draw-down* per entrambe le curve. I segnali forniti dalla rete, in questo caso però, sembrano essere migliori soprattutto ad inizio anno 2020: il profitto del sistema con i dati target crolla in negativo, al contrario quello calcolato con i segnali di *trading* forniti dalla rete sfiora la linea dello zero.

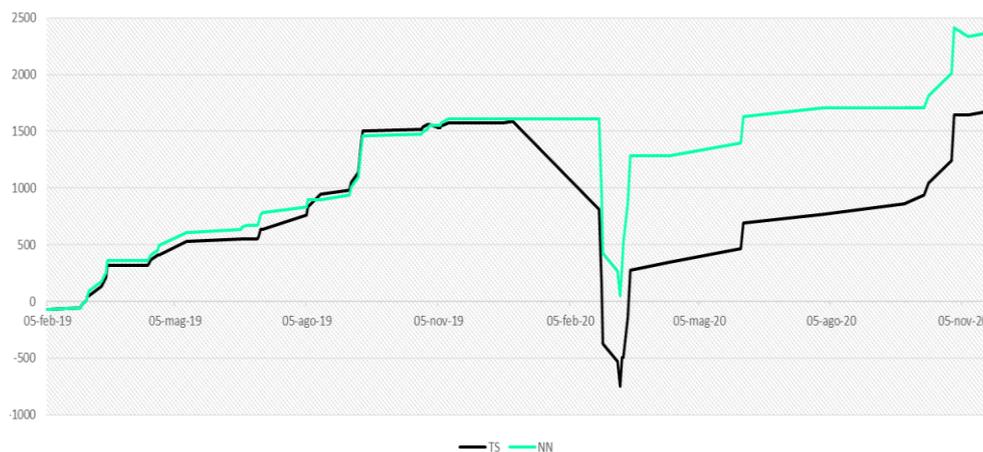


Figura 5.21 – Confronto Equity Line 19-20 con output e target

Differente è invece il risultato riportato nella tabella seguente (tabella 5.12), che si ottiene considerando gli output di una sola rete e con un numero di neuroni nello strato nascosto pari a 100.

TS Output 100 Hidden Neuron 2019-20	
Total trade	55
Winning trade	47
Losing trade	8
Percent profitable	85%
Max winning trade	414,32 €
Average winning trade	72,66 €
Min losing trade	-655,78 €
Average losing trade	-324,82 €
Gross Profit	3.415,19 €
Gross Loss	-2.598,54 €
Total net profit	816,65 €

Tabella 5.12 TS 100 Hidden Neuron 19-20

Il profitto netto della rete addestrata con 100 *hidden neuron* è inferiore rispetto sia a quello della rete precedente (Tabella 5.11), ottenuta da una media degli output, sia al sistema con i segnali target (Tabella 5.10).

Dal grafico 5.19 si osserva che la ricaduta di profitto sfiora i 1000 €; questo causa una perdita lorda maggiore rispetto ai modelli precedenti. La percentuale di profittabilità del sistema rimane però alta (85%); ciò significa che le operazioni in perdita sono poche ma hanno subito una variazione di quotazione consistente.



Figura 5.22 –Equity Line 19-20 output 100 hidden neuron

Essendo l'output di una rete il risultato di diversi fattori, ne consegue che conviene ripetere più volte l'addestramento e ricavare una media dei valori ottenuti, modificando anche il numero dei neuroni, per non trarre conclusioni errate.

5.3.5 Previsione su nuovi dati

Dopo aver confrontato i risultati tra i valori target e gli output dei modelli di classificazione si sono forniti come nuovi input alla terza rete addestrata i 15 indicatori tecnici calcolati sul mese di gennaio 2021.

I valori target di quest'ultimo mese, che non sono noti alla rete, sono illustrati nella seguente tabella 5.12:

Data	Long	Do_nothing	Short	Classe Target
04-gen-21	0	1	0	2
05-gen-21	0	1	0	2
06-gen-21	0	1	0	2
07-gen-21	0	1	0	2
08-gen-21	0	1	0	2
11-gen-21	0	1	0	2
12-gen-21	0	1	0	2
13-gen-21	0	1	0	2
14-gen-21	0	1	0	2
15-gen-21	0	1	0	2
19-gen-21	0	1	0	2
20-gen-21	0	1	0	2
21-gen-21	0	1	0	2
22-gen-21	0	1	0	2
25-gen-21	0	1	0	2
26-gen-21	0	1	0	2
27-gen-21	0	1	0	2
28-gen-21	0	1	0	2
29-gen-21	1	0	0	1

Tabella 5.12 Target

Gli output risultati dalla rete neurale sono invece riportati in tabella 5.13.

Data	Long	Do_nothing	Short	Classe Output
04-gen-21	3,571E-14	0,9998	0,0002	2
05-gen-21	6,825E-12	1,0000	0,0000	2
06-gen-21	3,927E-14	0,8932	0,1068	2
07-gen-21	1,939E-14	0,9867	0,0133	2
08-gen-21	3,295E-16	0,9452	0,0548	2
11-gen-21	1,453E-14	0,9999	0,0001	2
12-gen-21	8,211E-14	0,9999	0,0001	2
13-gen-21	9,605E-13	0,9997	0,0003	2
14-gen-21	8,296E-15	0,5502	0,4498	2
15-gen-21	7,932E-11	1,0000	0,0000	2
19-gen-21	5,08E-10	1,0000	0,0000	2
20-gen-21	2,404E-10	0,9972	0,0028	2
21-gen-21	1,246E-10	0,9997	0,0003	2
22-gen-21	4,009E-10	1,0000	0,0000	2
25-gen-21	2,105E-07	1,0000	0,0000	2
26-gen-21	1,184E-08	0,9984	0,0016	2
27-gen-21	0,0009	0,9991	0,0000	2
28-gen-21	8,596E-06	0,9999	0,0001	2
29-gen-21	0,0941	0,9059	0,0000	2

Tabella 5.13 Output

Si può osservare che, anche se non sono note le uscite desiderate, la rete riesce a fornire indicazioni sulla classe di appartenenza dei valori di output con una certa accuratezza, una volta apprese le correlazioni tra i dati di input.

Dalle due tabelle risulta infatti un'unica differenza tra la classificazione delle variabili di output. Questa però non deve essere considerata un errore, perché non è certo che il segnale di acquisto fornito dai dati target sia sicuramente profittevole. Le reti sono state addestrate per produrre gli output desiderati in risposta agli input campione e richiedono un addestramento continuo, con i segnali target di entrata e di uscita rivisti in base all'andamento effettivo del prezzo dell'indice in analisi, per ottenere previsioni accurate.

L'applicazione del modello di classificazione sulle serie storiche comporta la necessità di considerare non solo se la rete fornisca un segnale di acquisto errato,

ma anche di capire quanto questa indicazione “cada” temporalmente vicino ad un segnale indicato dalle variabili target. Dai risultati delle reti e dalle curve di profitto si infatti è potuto osservare che gli avvisi di vendita o acquisto si trovano con una certa frequenza vicino o in corrispondenza dei valori target e che non hanno portato a gravi perdite economiche.

Inoltre, dagli output ottenuti e dalla curva ROC, è possibile dedurre che la rete ha imparato a riconoscere le relazioni incognite che legano le variabili d'ingresso a quelle d'uscita nella fase di addestramento ed è riuscita a classificare gli output in base ad un criterio e non in modo causale.

Conclusioni

Il *trading*, in questo periodo di rivoluzione digitale, sta subendo un forte impatto della tecnologia: le borse si stanno avviando ad utilizzare sofisticati sistemi di Intelligenza Artificiale.

In questo elaborato è stata mostrata una connessione tra un *trading system* e il *Machine Learning*. Sono stati infatti creati, addestrati ed analizzati due differenti modelli di reti neurali artificiali con l'obiettivo di prevedere i movimenti di prezzo dell'indice Eurostoxx50.

Le reti neurali, grazie alla loro capacità di riconoscere le componenti non lineari dei prezzi e di gestire una notevole quantità di input, sono risultate in grado di cogliere le dinamiche presenti sul mercato, ricostruendo la legge che descrive un dato fenomeno. Come già evidenziato, un loro grande limite risulta l'incapacità di fornire spiegazioni riguardo ai risultati raggiunti.

Prima però di implementare la rete neurale è stato necessario ricorrere all'analisi di alcuni indicatori tecnici. L'Analisi Tecnica ha infatti lo scopo di individuare i momenti più redditizi di entrata e di uscita dal mercato.

Attraverso lo studio dell'andamento di due oscillatori è stato quindi creato un *trading system* utile ad individuare segnali di acquisto e vendita. Questa strategia, testata per il biennio 2019-2020, si è rivelata adeguata ed ha portato in entrambi gli anni ad una buona percentuale di profittabilità.

Interessante, inoltre, la netta differenza di guadagno, in particolare per il 2020 a causa delle perdite inaspettate dovute al crollo dei mercati ad inizio anno, riscontrata dall'applicazione della stessa strategia di *trading*, ma con l'utilizzo di uno *stop loss* percentuale.

Ai fini però di migliorare ulteriormente la profittabilità del sistema, la ricerca è stata ricondotta ad un modello di previsione e ad uno di classificazione multi-classe. La prima rete creata, la rete NARX, ha prodotto buoni risultati in termini di previsione del prezzo di chiusura. Tuttavia, poiché la rete non è sempre riuscita a cogliere le inversioni di *trend* immediatamente, tale previsione non è risultata sufficiente per l'implementazione di un semplice *trading system* basato sugli output giornalieri.

La seconda rete addestrata, la rete Pattern Recognition & Classification, è risultata invece più idonea nel fornire indicazioni di entrata e di uscita dal mercato. Confrontando i risultati ottenuti in ogni finestra temporale è emerso in generale un lieve miglioramento delle performance della strategia del sistema basato sulle uscite reali della rete neurale.

Tuttavia, essendo l'obiettivo dell'elaborato l'analisi delle prestazioni di un *trading system*, ottenuto dagli output di una rete, non bisogna limitarsi a osservare solo i risultati, ma è stato fondamentale comprendere la logica del funzionamento del *Machine Learning*.

Quindi risulta importante potenziare le attività di ricerca per sviluppare una metodologia consolidata e supportata da evidenze scientifiche e tecnologiche al fine di consentire l'applicazione diffusa dell'Intelligenza Artificiale nel campo finanziario. Dopodiché il *Machine Learning* stravolgerà i classici metodi di *trading*.

Appendice

Codici Matlab

PATTERNET

```
x = Input_3';
t = Target_3';
X1= x1';

% Training Function
trainFcn = 'trainscg'; % Scaled conjugate gradient
backpropagation.

% Create a Pattern Recognition Network
hiddenLayerSize = 1000;
net = patternnet(hiddenLayerSize, trainFcn);

% Setup Division of Data for Training, Validation, Testing
net.divideParam.trainRatio = 60/100;
net.divideParam.valRatio = 5/100;
net.divideParam.testRatio = 35/100;

% Train the Network
[net,tr] = train(net,x,t);

% Test the Network
y = net(x);
e = gsubtract(t,y);
performance = perform(net,t,y)
tind = vec2ind(t);
yind = vec2ind(y);
percentErrors = sum(tind ~= yind)/numel(tind);

% View the Network
view(net)

% Plots
%figure, plotperform(tr)
%figure, plottrainstate(tr)
%figure, ploterrhist(e)
%figure, plotconfusion(t,y)
%figure, plotroc(t,y)

% New prediction
y2=net(X1);
y2ind=vec2ind(y2);
```

NARXNET

```
X = tonndata(input,false,false);
T = tonndata(target,false,false);
X1=tonndata(x1,false,false);

% Training Function
trainFcn = 'trainlm' % Levenberg-Marquardt backpropagation

% Create a NARXNET
inputDelays = 1:2;
feedbackDelays = 1:2;
hiddenLayerSize = 10;

net=narxnet(inputDelays,feedbackDelays,hiddenLayerSize,'open
',trainFcn);

% Prepare the Data for Training and Simulation
[x,xi,ai,t] = preparets(net,X,{},T);

% Setup Division of Data for Training, Validation, Testing
net.divideParam.trainRatio = 70/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
net.divideParam.testRatio = 15/100;

% Train the Network
[net,tr] = train(net,x,t,xi,ai);

% Test the Network
[y,xf,af] = net(x,xi,ai);
e = gsubtract(t,y);
performance = perform(net,t,y)

% View the Network
view(net)

% Plots
%figure, plotperform(tr)
%figure, plottrainstate(tr)
%figure, ploterrhist(e)
%figure, plotregression(t,y)
%figure, plotresponse(t,y)
%figure, ploterrcorr(e)
%figure, plotinerrcorr(x,e)

% Closed-loop
[netc, xi,ai]=closeloop (net,xf,af);
[y2,xf,af]=netc(X1,xi,ai);

plot (cell2mat(y2));
```

DETTAGLI OPERAZIONI

Trading system 2019

Trade	Open	Posizione	Close	Net profit	EQUITY
05-feb-19	3215,04	Short	3283,6	-68,56	-68,56
28-feb-19	3298,26	Short	3283,6	14,66	-53,9
01-mar-19	3312,1	Short	3283,6	28,5	-25,4
04-mar-19	3317,12	Short	3283,6	33,52	8,12
05-mar-19	3327,19	Short	3283,6	43,59	51,71
15-mar-19	3386,08	Short	3305,73	80,35	132,06
18-mar-19	3387,94	Short	3305,73	82,21	214,27
19-mar-19	3409	Short	3305,73	103,27	317,54
16-apr-19	3463,36	Short	3462,95	0,41	317,95
17-apr-19	3477,73	Short	3462,95	14,78	332,73
18-apr-19	3499,23	Short	3462,95	36,28	369,01
23-apr-19	3503,85	Short	3462,95	40,9	409,91
13-mag-19	3320,78	Long	3438,56	117,78	527,69
20-giu-19	3468,08	Short	3442,38	25,7	553,39
01-lug-19	3497,59	Short	3501,52	-3,93	549,46
02-lug-19	3507,98	Short	3501,52	6,46	555,92
03-lug-19	3540,63	Short	3501,52	39,11	595,03
04-lug-19	3544,15	Short	3501,52	42,63	637,66
05-ago-19	3310,93	Long	3438,56	127,63	765,29
06-ago-19	3291,66	Long	3357,16	65,5	830,79
15-ago-19	3282,78	Long	3394,89	112,11	942,9
04-set-19	3450,83	Short	3413,31	37,52	980,42
05-set-19	3484,7	Short	3413,31	71,39	1051,81
10-set-19	3498,99	Short	3413,31	85,68	1137,49
11-set-19	3516,82	Short	3413,31	103,51	1241
12-set-19	3538,86	Short	3413,31	125,55	1366,55
13-set-19	3550,11	Short	3413,31	136,8	1503,35
24-ott-19	3621,37	Short	3604,41	16,96	1520,31
25-ott-19	3624,68	Short	3604,41	20,27	1540,58
28-ott-19	3625,69	Short	3604,41	21,28	1561,86
04-nov-19	3665,21	Short	3687,32	-22,11	1539,75
05-nov-19	3676,52	Short	3687,32	-10,8	1528,95
06-nov-19	3688,74	Short	3687,32	1,42	1530,37
07-nov-19	3706,68	Short	3687,32	19,36	1549,73
12-nov-19	3712,2	Short	3687,32	24,88	1574,61
20-dic-19	3776,56	Short	3774,14	2,42	1577,03
27-dic-19	3782,27	Short	3774,14	8,13	1585,16

Trading system 2019 – Stop loss 1.5%

Trade	Open	Posizione	Stop loss	Prezzo Stop loss	Close	Net profit	EQUITY
05-feb-19	3215,04	Short	48,2256	3263,2656	3263,26	-48,2256	-48,2256
28-feb-19	3298,26	Short	49,4739	3347,7339	3283,6	14,66	-33,5656
01-mar-19	3312,1	Short	49,6815	3361,7815	3283,6	28,5	-5,0656
04-mar-19	3317,12	Short	49,7568	3366,8768	3283,6	33,52	28,4544
05-mar-19	3327,19	Short	49,90785	3377,09785	3283,6	43,59	72,0444
15-mar-19	3386,08	Short	50,7912	3436,8712	3305,73	80,35	152,3944
18-mar-19	3387,94	Short	50,8191	3438,7591	3305,73	82,21	234,6044
19-mar-19	3409	Short	51,135	3460,135	3305,73	103,27	337,8744
16-apr-19	3463,36	Short	51,9504	3515,3104	3462,95	0,41	338,2844
17-apr-19	3477,73	Short	52,16595	3529,89595	3462,95	14,78	353,0644
18-apr-19	3499,23	Short	52,48845	3551,71845	3462,95	36,28	389,3444
23-apr-19	3503,85	Short	52,55775	3556,40775	3462,95	40,9	430,2444
13-mag-19	3320,78	Long	49,8117	3270,9683	3438,56	117,78	548,0244
20-giu-19	3468,08	Short	52,0212	3520,1012	3442,38	25,7	573,7244
01-lug-19	3497,59	Short	52,46385	3550,05385	3501,52	-3,93	569,7944
02-lug-19	3507,98	Short	52,6197	3560,5997	3501,52	6,46	576,2544
03-lug-19	3540,63	Short	53,10945	3593,73945	3501,52	39,11	615,3644
04-lug-19	3544,15	Short	53,16225	3597,31225	3501,52	42,63	657,9944
05-ago-19	3310,93	Long	49,66395	3261,26605	3438,56	127,63	785,6244
06-ago-19	3291,66	Long	49,3749	3242,2851	3357,16	65,5	851,1244
15-ago-19	3282,78	Long	49,2417	3233,5383	3394,89	112,11	963,2344
04-set-19	3450,83	Short	51,76245	3502,59245	3502,59	-51,7625	911,472
05-set-19	3484,7	Short	52,2705	3536,9705	3536,97	-52,2705	859,2015
10-set-19	3498,99	Short	52,48485	3551,47485	3551,474	-52,4848	806,7166
11-set-19	3516,82	Short	52,7523	3569,5723	3569,57	-52,7523	753,9643
12-set-19	3538,86	Short	53,0829	3591,9429	3413,31	125,55	879,5143
13-set-19	3550,11	Short	53,25165	3603,36165	3413,31	136,8	1016,314
24-ott-19	3621,37	Short	54,32055	3675,69055	3604,41	16,96	1033,274
25-ott-19	3624,68	Short	54,3702	3679,0502	3604,41	20,27	1053,544
28-ott-19	3625,69	Short	54,38535	3680,07535	3604,41	21,28	1074,824
04-nov-19	3665,21	Short	54,97815	3720,18815	3687,32	-22,11	1052,714
05-nov-19	3676,52	Short	55,1478	3731,6678	3687,32	-10,8	1041,914
06-nov-19	3688,74	Short	55,3311	3744,0711	3687,32	1,42	1043,334
07-nov-19	3706,68	Short	55,6002	3762,2802	3687,32	19,36	1062,694
12-nov-19	3712,2	Short	55,683	3767,883	3687,32	24,88	1087,574
20-dic-19	3776,56	Short	56,6484	3833,2084	3774,14	2,42	1089,994
27-dic-19	3782,27	Short	56,73405	3839,00405	3774,14	8,13	1098,124

Trading system 2019 – Stop loss 0.5%

Trade	Open	Posizione	Stop loss	Prezzo Stop loss	Close	Net profit	EQUITY
05/02/2019	3215,04	Short	16,0752	3231,1152	3231,115	-16,0752	-16,075
28/02/2019	3298,26	Short	16,4913	3314,7513	3314,751	-16,4913	-32,567
01/03/2019	3312,1	Short	16,5605	3328,6605	3283,6	28,5	-4,0665
04/03/2019	3317,12	Short	16,5856	3333,7056	3283,6	33,52	29,4535
05/03/2019	3327,19	Short	16,63595	3343,826	3283,6	43,59	73,0435
15/03/2019	3386,08	Short	16,9304	3403,0104	3403,01	-16,9304	56,1131
18/03/2019	3387,94	Short	16,9397	3404,8797	3404,88	-16,9397	39,1734
19/03/2019	3409	Short	17,045	3426,045	3305,73	103,27	142,443
16/04/2019	3463,36	Short	17,3168	3480,6768	3480,677	-17,3168	125,127
17/04/2019	3477,73	Short	17,38865	3495,1187	3495,119	-17,3886	107,738
18/04/2019	3499,23	Short	17,49615	3516,7262	3462,95	36,28	144,018
23/04/2019	3503,85	Short	17,51925	3521,3693	3462,95	40,9	184,918
13/05/2019	3320,78	Long	16,6039	3304,1761	3438,56	117,78	302,698
20/06/2019	3468,08	Short	17,3404	3485,4204	3442,38	25,7	328,398
01/07/2019	3497,59	Short	17,48795	3515,078	3515,078	-17,488	310,91
02/07/2019	3507,98	Short	17,5399	3525,5199	3525,52	-17,5399	293,37
03/07/2019	3540,63	Short	17,70315	3558,3332	3501,52	39,11	332,48
04/07/2019	3544,15	Short	17,72075	3561,8708	3501,52	42,63	375,11
05/08/2019	3310,93	Long	16,55465	3294,3754	3294,375	-16,5547	358,555
06/08/2019	3291,66	Long	16,4583	3275,2017	3357,16	65,5	424,055
15/08/2019	3282,78	Long	16,4139	3266,3661	3394,89	112,11	536,165
04/09/2019	3450,83	Short	17,25415	3468,0842	3468,084	-17,2542	518,911
05/09/2019	3484,7	Short	17,4235	3502,1235	3502,124	-17,4235	501,488
10/09/2019	3498,99	Short	17,49495	3516,485	3516,485	-17,4949	483,993
11/09/2019	3516,82	Short	17,5841	3534,4041	3534,404	-17,5841	466,409
12/09/2019	3538,86	Short	17,6943	3556,5543	3556,554	-17,6943	448,714
13/09/2019	3550,11	Short	17,75055	3567,8606	3567,861	-17,7506	430,964
24/10/2019	3621,37	Short	18,10685	3639,4769	3604,41	16,96	447,924
25/10/2019	3624,68	Short	18,1234	3642,8034	3604,41	20,27	468,194
28/10/2019	3625,69	Short	18,12845	3643,8185	3604,41	21,28	489,474
04/11/2019	3665,21	Short	18,32605	3683,5361	3683,536	-18,3261	471,148
05/11/2019	3676,52	Short	18,3826	3694,9026	3694,903	-18,3826	452,765
06/11/2019	3688,74	Short	18,4437	3707,1837	3707,184	-18,4437	434,322
07/11/2019	3706,68	Short	18,5334	3725,2134	3687,32	19,36	453,682
12/11/2019	3712,2	Short	18,561	3730,761	3687,32	24,88	478,562
20/12/2019	3776,56	Short	18,8828	3795,4428	3795,443	-18,8828	459,679
27/12/2019	3782,27	Short	18,91135	3801,1814	3774,14	8,13	467,809

Trading system 2019 – Stop loss 4%

Trade	Open	Posizione	Stop loss	Prezzo Stop loss	Close	Net profit	EQUITY
05/02/2019	3215,04	Short	128,6016	3343,642	3283,6	-68,56	-68,56
28/02/2019	3298,26	Short	131,9304	3430,19	3283,6	14,66	-53,9
01/03/2019	3312,1	Short	132,484	3444,584	3283,6	28,5	-25,4
04/03/2019	3317,12	Short	132,6848	3449,805	3283,6	33,52	8,12
05/03/2019	3327,19	Short	133,0876	3460,278	3283,6	43,59	51,71
15/03/2019	3386,08	Short	135,4432	3521,523	3305,73	80,35	132,06
18/03/2019	3387,94	Short	135,5176	3523,458	3305,73	82,21	214,27
19/03/2019	3409	Short	136,36	3545,36	3305,73	103,3	317,54
16/04/2019	3463,36	Short	138,5344	3601,894	3462,95	0,41	317,95
17/04/2019	3477,73	Short	139,1092	3616,839	3462,95	14,78	332,73
18/04/2019	3499,23	Short	139,9692	3639,199	3462,95	36,28	369,01
23/04/2019	3503,85	Short	140,154	3644,004	3462,95	40,9	409,91
13/05/2019	3320,78	Long	132,8312	3187,949	3438,56	117,8	527,69
20/06/2019	3468,08	Short	138,7232	3606,803	3442,38	25,7	553,39
01/07/2019	3497,59	Short	139,9036	3637,494	3501,52	-3,93	549,46
02/07/2019	3507,98	Short	140,3192	3648,299	3501,52	6,46	555,92
03/07/2019	3540,63	Short	141,6252	3682,255	3501,52	39,11	595,03
04/07/2019	3544,15	Short	141,766	3685,916	3501,52	42,63	637,66
05/08/2019	3310,93	Long	132,4372	3178,493	3438,56	127,6	765,29
06/08/2019	3291,66	Long	131,6664	3159,994	3357,16	65,5	830,79
15/08/2019	3282,78	Long	131,3112	3151,469	3394,89	112,1	942,9
04/09/2019	3450,83	Short	138,0332	3588,863	3413,31	37,52	980,42
05/09/2019	3484,7	Short	139,388	3624,088	3413,31	71,39	1051,81
10/09/2019	3498,99	Short	139,9596	3638,95	3413,31	85,68	1137,49
11/09/2019	3516,82	Short	140,6728	3657,493	3413,31	103,5	1241
12/09/2019	3538,86	Short	141,5544	3680,414	3413,31	125,6	1366,55
13/09/2019	3550,11	Short	142,0044	3692,114	3413,31	136,8	1503,35
24/10/2019	3621,37	Short	144,8548	3766,225	3604,41	16,96	1520,31
25/10/2019	3624,68	Short	144,9872	3769,667	3604,41	20,27	1540,58
28/10/2019	3625,69	Short	145,0276	3770,718	3604,41	21,28	1561,86
04/11/2019	3665,21	Short	146,6084	3811,818	3687,32	-22,11	1539,75
05/11/2019	3676,52	Short	147,0608	3823,581	3687,32	-10,8	1528,95
06/11/2019	3688,74	Short	147,5496	3836,29	3687,32	1,42	1530,37
07/11/2019	3706,68	Short	148,2672	3854,947	3687,32	19,36	1549,73
12/11/2019	3712,2	Short	148,488	3860,688	3687,32	24,88	1574,61
20/12/2019	3776,56	Short	151,0624	3927,622	3774,14	2,42	1577,03
27/12/2019	3782,27	Short	151,2908	3933,561	3774,14	8,13	1585,16

Trading system 2020

Trade	Open	Posizione	Close	Net profit	Equity
25/02/2020	3572,51	Long	2800,14	-772,37	-772,37
27/02/2020	3455,92	Long	2800,14	-655,78	-1428,15
28/02/2020	3329,49	Long	2800,14	-529,35	-1957,5
09/03/2020	2959,07	Long	2800,14	-158,93	-2116,43
10/03/2020	2910,02	Long	2800,14	-109,88	-2226,31
11/03/2020	2905,56	Long	2800,14	-105,42	-2331,73
12/03/2020	2545,23	Long	2800,14	254,91	-2076,82
16/03/2020	2450,37	Long	2800,14	349,77	-1727,05
18/03/2020	2385,82	Long	2800,14	414,32	-1312,73
14/04/2020	2917,74	Short	2843,76	73,98	-1238,75
03/06/2020	3269,59	Short	3153,74	115,85	-1122,9
05/06/2020	3384,29	Short	3153,74	230,55	-892,35
31/07/2020	3174,32	Long	3252,65	78,33	-814,02
25/09/2020	3137,06	Long	3223,19	86,13	-727,89
09/10/2020	3273,12	Short	3192,69	80,43	-647,46
12/10/2020	3298,12	Short	3192,69	105,43	-542,03
28/10/2020	2963,54	Long	3161,07	197,53	-344,5
29/10/2020	2960,03	Long	3161,07	201,04	-143,46
30/10/2020	2958,21	Long	3161,07	202,86	59,4
27/11/2020	3527,79	Short	3485,84	41,95	101,35

Trading system 2020 Stop loss 0.5%

Trade	Open	Posizione	STOP LOSS	Prezzo Stop Loss	Close	Net profit	EQUITY
25/02/2020	3572,51	Long	17,86255	3554,65	3554,6	-17,8625	-17,86
27/02/2020	3455,92	Long	17,2796	3438,64	3438,6	-17,2796	-35,14
28/02/2020	3329,49	Long	16,64745	3312,84	3312,8	-16,6474	-51,79
09/03/2020	2959,07	Long	14,79535	2944,27	2944,3	-14,7953	-66,58
10/03/2020	2910,02	Long	14,5501	2895,47	2895,5	-14,5501	-81,14
11/03/2020	2905,56	Long	14,5278	2891,03	2891	-14,5278	-95,66
12/03/2020	2545,23	Long	12,72615	2532,5	2532,5	-12,7262	-108,4
16/03/2020	2450,37	Long	12,25185	2438,12	2438,1	-12,2519	-120,6
18/03/2020	2385,82	Long	11,9291	2373,89	2800,1	414,32	293,68
14/04/2020	2917,74	Short	14,5887	2932,33	2932,3	-14,5887	279,09
03/06/2020	3269,59	Short	16,34795	3285,94	3285,9	-16,3479	262,74
05/06/2020	3384,29	Short	16,92145	3401,21	3153,7	230,55	493,29
31/07/2020	3174,32	Long	15,8716	3158,45	3252,7	78,33	571,62
25/09/2020	3137,06	Long	15,6853	3121,37	3223,2	86,13	657,75
09/10/2020	3273,12	Short	16,3656	3289,49	3289,5	-16,3656	641,39
12/10/2020	3298,12	Short	16,4906	3314,61	3192,7	105,43	746,82
28/10/2020	2963,54	Long	14,8177	2948,72	3161,1	197,53	944,35
29/10/2020	2960,03	Long	14,80015	2945,23	3161,1	201,04	1145,4
30/10/2020	2958,21	Long	14,79105	2943,42	3161,1	202,86	1348,2
27/11/2020	3527,79	Short	17,63895	3545,43	3485,8	41,95	1390,2

Trading system 2020 Stop loss 1.5%

Trade	Open	Posizione	STOP LOSS	Prezzo Stop Loss	Close	Net profit	EQUITY
25/02/2020	3572,51	Long	53,58765	3518,9	3518,9	-53,588	-53,59
27/02/2020	3455,92	Long	51,8388	3404,1	3404,1	-51,839	-105,4
28/02/2020	3329,49	Long	49,94235	3279,5	3279,5	-49,942	-155,4
09/03/2020	2959,07	Long	44,38605	2914,7	2914,7	-44,386	-199,8
10/03/2020	2910,02	Long	43,6503	2866,4	2866,4	-43,65	-243,4
11/03/2020	2905,56	Long	43,5834	2862	2862	-43,583	-287
12/03/2020	2545,23	Long	38,17845	2507,1	2507,1	-38,178	-325,2
16/03/2020	2450,37	Long	36,75555	2413,6	2413,6	-36,756	-361,9
18/03/2020	2385,82	Long	35,7873	2350	2800,1	414,32	52,397
14/04/2020	2917,74	Short	43,7661	2961,5	2961,5	-43,766	8,6314
03/06/2020	3269,59	Short	49,04385	3318,6	3318,6	-49,044	-40,41
05/06/2020	3384,29	Short	50,76435	3435,1	3153,7	230,55	190,14
31/07/2020	3174,32	Long	47,6148	3126,7	3252,7	78,33	268,47
25/09/2020	3137,06	Long	47,0559	3090	3223,2	86,13	354,6
09/10/2020	3273,12	Short	49,0968	3322,2	3192,7	80,43	435,03
12/10/2020	3298,12	Short	49,4718	3347,6	3192,7	105,43	540,46
28/10/2020	2963,54	Long	44,4531	2919,1	3161,1	197,53	737,99
29/10/2020	2960,03	Long	44,40045	2915,6	3161,1	201,04	939,03
30/10/2020	2958,21	Long	44,37315	2913,8	3161,1	202,86	1141,9
27/11/2020	3527,79	Short	52,91685	3580,7	3485,8	41,95	1183,8

Trading system 2020 Stop loss 4%

Trade	Open	Posizione	STOP LOSS	Prezzo Stop Loss	Close	Net profit	EQUITY
2/25/2020	3572,51	Long	142,9	3429,61	3429,61	-142,9	-142,9
2/27/2020	3455,92	Long	138,237	3317,68	3317,68	-138,237	-281,137
2/28/2020	3329,49	Long	133,18	3196,31	3196,31	-133,18	-414,317
03/09/2020	2959,07	Long	118,363	2840,71	2840,71	-118,363	-532,68
03/10/2020	2910,02	Long	116,401	2793,62	2793,62	-116,401	-649,08
03/11/2020	2905,56	Long	116,222	2789,34	2789,34	-116,222	-765,303
03/12/2020	2545,23	Long	101,809	2443,42	2443,42	-101,809	-867,112
3/16/2020	2450,37	Long	98,0148	2352,36	2548,5	98,13	-768,982
3/18/2020	2385,82	Long	95,4328	2290,39	2800,14	414,32	-354,662
4/14/2020	2917,74	Short	116,71	3034,45	2843,76	73,98	-280,682
06/03/2020	3269,59	Short	130,784	3400,37	3153,74	115,85	-164,832
06/05/2020	3384,29	Short	135,372	3519,66	3153,74	230,55	65,718
7/31/2020	3174,32	Long	126,973	3047,35	3252,65	78,33	144,048
9/25/2020	3137,06	Long	125,482	3011,58	3223,19	86,13	230,178
10/09/2020	3273,12	Short	130,925	3404,04	3192,69	80,43	310,608
10/12/2020	3298,12	Short	131,925	3430,04	3192,69	105,43	416,038
10/28/2020	2963,54	Long	118,542	2845	3161,07	197,53	613,568
10/29/2020	2960,03	Long	118,401	2841,63	3161,07	201,04	814,608
10/30/2020	2958,21	Long	118,328	2839,88	3161,07	202,86	1017,468
11/27/2020	3527,79	Short	141,112	3668,9	3485,84	41,95	1059,418

Trading system 2020 Stop loss 5%

Trade	Open	Posizione	STOP LOSS	Prezzo Stop Loss	Close	Net profit	EQUITY
2/25/2020	3572,5	Long	178,6255	3393,88	3393,88	-178,6	-178,63
2/27/2020	3455,9	Long	172,796	3283,12	3283,12	-172,8	-351,42
2/28/2020	3329,5	Long	166,4745	3163,02	3163,02	-166,5	-517,9
03/09/2020	2959,1	Long	147,9535	2811,12	2811,12	-148	-665,85
03/10/2020	2910	Long	145,501	2764,52	2764,52	-145,5	-811,35
03/11/2020	2905,6	Long	145,278	2760,28	2760,28	-145,3	-956,63
03/12/2020	2545,2	Long	127,2615	2417,97	2417,97	-127,3	-1083,9
3/16/2020	2450,4	Long	122,5185	2327,85	2548,5	98,13	-985,76
3/18/2020	2385,8	Long	119,291	2266,53	2800,14	414,32	-571,44
4/14/2020	2917,7	Short	145,887	3063,63	2843,76	73,98	-497,46
06/03/2020	3269,6	Short	163,4795	3433,07	3153,74	115,85	-381,61
06/05/2020	3384,3	Short	169,2145	3553,5	3153,74	230,55	-151,06
7/31/2020	3174,3	Long	158,716	3015,6	3252,65	78,33	-72,73
9/25/2020	3137,1	Long	156,853	2980,21	3223,19	86,13	13,4
10/09/2020	3273,1	Short	163,656	3436,78	3192,69	80,43	93,83
10/12/2020	3298,1	Short	164,906	3463,03	3192,69	105,43	199,26
10/28/2020	2963,5	Long	148,177	2815,36	3161,07	197,53	396,79
10/29/2020	2960	Long	148,0015	2812,03	3161,07	201,04	597,83
10/30/2020	2958,2	Long	147,9105	2810,3	3161,07	202,86	800,69
11/27/2020	3527,8	Short	176,3895	3704,18	3485,84	41,95	842,64

Trading system 2014-2015

Trade	Open	Posizione	Close	Net profit	EQUITY
15/01/2014	3168,76	Short	3151,27	17,49	17,49
04/02/2014	2962,49	Long	3032,53	70,04	87,53
20/02/2014	3121,59	Short	3053,99	67,6	155,13
21/02/2014	3131,67	Short	3053,99	77,68	232,81
24/02/2014	3157,31	Short	3053,99	103,32	336,13
25/02/2014	3157,48	Short	3053,99	103,49	439,62
14/03/2014	3004,64	Long	3088,9	84,26	523,88
02/04/2014	3187,45	Short	3152,86	34,59	558,47
03/04/2014	3206,76	Short	3152,86	53,9	612,37
04/04/2014	3230,33	Short	3152,86	77,47	689,84
05/06/2014	3267,05	Short	3261,42	5,63	695,47
06/06/2014	3294,28	Short	3261,42	32,86	728,33
10/06/2014	3313,8	Short	3261,42	52,38	780,71
10/07/2014	3150,59	Long	3220,07	69,48	850,19
06/08/2014	3050,37	Long	3058,16	7,79	857,98
08/08/2014	3006,83	Long	3058,16	51,33	909,31
04/09/2014	3277,25	Short	3237,76	39,49	948,8
08/10/2014	3053,31	Long	3008,53	-44,78	904,02
09/10/2014	3042,45	Long	3008,53	-33,92	870,1
10/10/2014	2991,5	Long	3008,53	17,03	887,13
15/10/2014	2892,55	Long	3008,53	115,98	1003,11
16/10/2014	2874,65	Long	3008,53	133,88	1136,99
24/11/2014	3211,7	Short	3191,25	20,45	1157,44
27/11/2014	3244,92	Short	3191,25	53,67	1211,11
28/11/2014	3250,93	Short	3191,25	59,68	1270,79
15/12/2014	2982,9	Long	3154,91	172,01	1442,8
23/01/2015	3382,55	Short	3370,11	12,44	1455,24
26/01/2015	3414,28	Short	3370,11	44,17	1499,41
04/02/2015	3415,53	Short	3674,05	-258,52	1240,89
19/02/2015	3488,08	Short	3674,05	-185,97	1054,92
24/02/2015	3547,1	Short	3674,05	-126,95	927,97
26/02/2015	3574,94	Short	3674,05	-99,11	828,86
27/02/2015	3599	Short	3674,05	-75,05	753,81
16/03/2015	3706,75	Short	3674,05	32,7	786,51
05/05/2015	3546,56	Long	3683,48	136,92	923,43
09/06/2015	3456,79	Long	3596,07	139,28	1062,71
17/06/2015	3428,76	Long	3596,07	167,31	1230,02
20/08/2015	3353,48	Long	3269,63	-83,85	1146,17
21/08/2015	3247,26	Long	3269,63	22,37	1168,54
24/08/2015	3073,39	Long	3269,63	196,24	1364,78
21/10/2015	3272,23	Short	3360,65	-88,42	1276,36

22/10/2015	3353,11	Short	3360,65	-7,54	1268,82
23/10/2015	3425,81	Short	3360,65	65,16	1333,98
03/11/2015	3442,68	Short	3360,65	82,03	1416,01
05/11/2015	3447,49	Short	3360,65	86,84	1502,85
06/11/2015	3468,21	Short	3360,65	107,56	1610,41
10/12/2015	3269,97	Long	3287,98	18,01	1628,42
11/12/2015	3203,21	Long	3287,98	84,77	1713,19
14/12/2015	3139,24	Long	3287,98	148,74	1861,93

Rete neurale – Trading system 2014-2015

Trade	Open	Posizione	Close	Net profit	EQUITY
15/01/2014	3168,76	Short	3151,27	17,49	17,49
04/02/2014	2962,49	Long	3032,53	70,04	87,53
05/02/2014	2962,51	Long	3032,53	70,02	157,55
21/02/2014	3131,67	Short	3053,99	77,68	235,23
24/02/2014	3157,31	Short	3053,99	103,32	338,55
25/02/2014	3157,48	Short	3053,99	103,49	442,04
26/02/2014	3148,19	Short	3053,99	94,2	536,24
03/04/2014	3206,76	Short	3152,86	53,9	590,14
04/04/2014	3230,33	Short	3152,86	77,47	667,61
05/06/2014	3267,05	Short	3261,42	5,63	673,24
06/06/2014	3294,28	Short	3261,42	32,86	706,1
10/06/2014	3313,8	Short	3261,42	52,38	758,48
10/07/2014	3150,59	Long	3220,07	69,48	827,96
06/08/2014	3050,37	Long	3058,16	7,79	835,75
07/08/2014	3012,88	Long	3058,16	45,28	881,03
08/08/2014	3006,83	Long	3058,16	51,33	932,36
04/09/2014	3277,25	Short	3237,76	39,49	971,85
05/09/2014	3275,25	Short	3237,76	37,49	1009,34
10/10/2014	2991,5	Long	3008,53	17,03	1026,37
14/10/2014	3000,99	Long	3008,53	7,54	1033,91
15/10/2014	2892,55	Long	3008,53	115,98	1149,89
16/10/2014	2874,65	Long	3008,53	133,88	1283,77
27/11/2014	3244,92	Short	3191,25	53,67	1337,44
28/11/2014	3250,93	Short	3191,25	59,68	1397,12
03/12/2014	3247,72	Short	3191,25	56,47	1453,59
12/12/2014	3067,32	Long	3154,91	87,59	1541,18
15/12/2014	2982,9	Long	3154,91	172,01	1713,19
23/01/2015	3382,55	Short	3370,11	12,44	1725,63
26/01/2015	3414,28	Short	3370,11	44,17	1769,8
03/02/2015	3414,18	Short	3674,05	-259,87	1509,93

04/02/2015	3415,53	Short	3674,05	-258,52	1251,41
23/02/2015	3519,58	Short	3674,05	-154,47	1096,94
24/02/2015	3547,1	Short	3674,05	-126,95	969,99
26/02/2015	3574,94	Short	3674,05	-99,11	870,88
27/02/2015	3599	Short	3674,05	-75,05	795,83
02/03/2015	3591,09	Short	3674,05	-82,96	712,87
05/05/2015	3546,56	Long	3683,48	136,92	849,79
06/05/2015	3558,03	Long	3683,48	125,45	975,24
07/05/2015	3556,21	Long	3683,48	127,27	1102,51
09/06/2015	3456,79	Long	3596,07	139,28	1241,79
17/06/2015	3428,76	Long	3596,07	167,31	1409,1
20/08/2015	3353,48	Long	3269,63	-83,85	1325,25
21/08/2015	3247,26	Long	3269,63	22,37	1347,62
24/08/2015	3073,39	Long	3269,63	196,24	1543,86
22/10/2015	3353,11	Short	3360,65	-7,54	1536,32
23/10/2015	3425,81	Short	3360,65	65,16	1601,48
03/11/2015	3442,68	Short	3360,65	82,03	1683,51
05/11/2015	3447,49	Short	3360,65	86,84	1770,35
06/11/2015	3468,21	Short	3360,65	107,56	1877,91
11/12/2015	3203,21	Long	3287,98	84,77	1962,68
14/12/2015	3139,24	Long	3287,98	148,74	2111,42

Trading system 2017-2018

Trade	Open	Posizione	Close	Net profit	EQUITY
03/01/2017	3315,02	Short	3307,94	7,08	7,08
04/01/2017	3317,52	Short	3307,94	9,58	16,66
06/01/2017	3321,17	Short	3307,94	13,23	29,89
01/03/2017	3390,2	Short	3448,26	-58,06	-28,17
03/03/2017	3403,39	Short	3448,26	-44,87	-73,04
09/03/2017	3409,89	Short	3448,26	-38,37	-111,41
16/03/2017	3439,96	Short	3448,26	-8,3	-119,71
17/03/2017	3448,41	Short	3448,26	0,15	-119,56
31/03/2017	3500,93	Short	3448,26	52,67	-66,89
04/05/2017	3627,88	Short	3584,83	43,05	-23,84
05/05/2017	3658,79	Short	3584,83	73,96	50,12
31/05/2017	3554,59	Long	3527,83	-26,76	23,36
18/09/2017	3526,74	Short	3591,46	-64,72	-41,36
19/09/2017	3531,18	Short	3591,46	-60,28	-101,64
22/09/2017	3541,42	Short	3591,46	-50,04	-151,68
27/09/2017	3555,17	Short	3591,46	-36,29	-187,97
28/09/2017	3563,64	Short	3591,46	-27,82	-215,79
29/09/2017	3594,85	Short	3591,46	3,39	-212,4

02/10/2017	3602,69	Short	3591,46	11,23	-201,17
03/10/2017	3605,73	Short	3591,46	14,27	-186,9
05/10/2017	3613,54	Short	3591,46	22,08	-164,82
18/10/2017	3619,65	Short	3591,46	28,19	-136,63
30/10/2017	3662,18	Short	3655,04	7,14	-129,49
31/10/2017	3673,95	Short	3655,04	18,91	-110,58
01/11/2017	3697,4	Short	3655,04	42,36	-68,22
15/11/2017	3545,72	Long	3581,23	35,51	-32,71
19/01/2018	3649,07	Short	3606,75	42,32	9,61
22/01/2018	3665,28	Short	3606,75	58,53	68,14
23/01/2018	3672,29	Short	3606,75	65,54	133,68
05/02/2018	3478,77	Long	3426,8	-51,97	81,71
06/02/2018	3394,92	Long	3426,8	31,88	113,59
08/02/2018	3377,3	Long	3426,8	49,5	163,09
09/02/2018	3325,99	Long	3426,8	100,81	263,9
17/04/2018	3477,91	Short	3515,36	-37,45	226,45
18/04/2018	3490,89	Short	3515,36	-24,47	201,98
20/04/2018	3494,2	Short	3515,36	-21,16	180,82
23/04/2018	3513,06	Short	3515,36	-2,3	178,52
02/05/2018	3553,79	Short	3515,36	38,43	216,95
07/05/2018	3564,19	Short	3515,36	48,83	265,78
17/05/2018	3592,18	Short	3515,36	76,82	342,6
29/05/2018	3428,14	Long	3459,77	31,63	374,23
31/05/2018	3406,65	Long	3459,77	53,12	427,35
18/07/2018	3485,08	Short	3483,3	1,78	429,13
07/09/2018	3293,36	Long	3333,68	40,32	469,45
26/09/2018	3433,15	Short	3375,08	58,07	527,52
27/09/2018	3449,79	Short	3375,08	74,71	602,23
11/10/2018	3209,19	Long	3197,51	-11,68	590,55
12/10/2018	3194,41	Long	3197,51	3,1	593,65
23/10/2018	3140,94	Long	3197,51	56,57	650,22
24/10/2018	3130,33	Long	3197,51	67,18	717,4
27/12/2018	2937,36	Long	2986,53	49,17	766,57

Rete neurale – Trading system 2017-2018

Trade	Open	Posizione	Close	Net profit	EQUITY
03/01/2017	3315,02	Short	3307,94	7,08	7,08
05/01/2017	3316,47	Short	3307,94	8,53	15,61
06/01/2017	3321,17	Short	3307,94	13,23	28,84
01/03/2017	3390,2	Short	3448,26	-58,06	-29,22
03/03/2017	3403,39	Short	3448,26	-44,87	-74,09
16/03/2017	3439,96	Short	3448,26	-8,3	-82,39
17/03/2017	3448,41	Short	3448,26	0,15	-82,24
31/03/2017	3500,93	Short	3448,26	52,67	-29,57

05/05/2017	3658,79	Short	3584,83	73,96	44,39
09/05/2017	3649,08	Short	3584,83	64,25	108,64
18/09/2017	3526,74	Short	3591,46	-64,72	43,92
22/09/2017	3541,42	Short	3591,46	-50,04	-6,12
27/09/2017	3555,17	Short	3591,46	-36,29	-42,41
28/09/2017	3563,64	Short	3591,46	-27,82	-70,23
29/09/2017	3594,85	Short	3591,46	3,39	-66,84
02/10/2017	3602,69	Short	3591,46	11,23	-55,61
03/10/2017	3605,73	Short	3591,46	14,27	-41,34
05/10/2017	3613,54	Short	3591,46	22,08	-19,26
01/11/2017	3697,4	Short	3655,04	42,36	23,1
19/01/2018	3649,07	Short	3606,75	42,32	65,42
22/01/2018	3665,28	Short	3606,75	58,53	123,95
23/01/2018	3672,29	Short	3606,75	65,54	189,49
05/02/2018	3478,77	Long	3426,8	-51,97	137,52
06/02/2018	3394,92	Long	3426,8	31,88	169,4
08/02/2018	3377,3	Long	3426,8	49,5	218,9
09/02/2018	3325,99	Long	3426,8	100,81	319,71
17/04/2018	3477,91	Short	3515,36	-37,45	282,26
18/04/2018	3490,89	Short	3515,36	-24,47	257,79
23/04/2018	3513,06	Short	3515,36	-2,3	255,49
24/04/2018	3510,88	Short	3515,36	-4,48	251,01
02/05/2018	3553,79	Short	3515,36	38,43	289,44
17/05/2018	3592,18	Short	3515,36	76,82	366,26
29/05/2018	3428,14	Long	3459,77	31,63	397,89
31/05/2018	3406,65	Long	3459,77	53,12	451,01
26/09/2018	3433,15	Short	3375,08	58,07	509,08
27/09/2018	3449,79	Short	3375,08	74,71	583,79
11/10/2018	3209,19	Long	3197,51	-11,68	572,11
12/10/2018	3194,41	Long	3197,51	3,1	575,21
23/10/2018	3140,94	Long	3197,51	56,57	631,78
24/10/2018	3130,33	Long	3197,51	67,18	698,96
27/12/2018	2937,36	Long	2986,53	49,17	748,13

Trading system 2019-2020

Trade	Open	Posizione	Close	Net profit	EQUITY
05/02/2019	3215,04	Short	3283,6	-68,56	-68,56
28/02/2019	3298,26	Short	3283,6	14,66	-53,9
01/03/2019	3312,1	Short	3283,6	28,5	-25,4
04/03/2019	3317,12	Short	3283,6	33,52	8,12
05/03/2019	3327,19	Short	3283,6	43,59	51,71
15/03/2019	3386,08	Short	3305,73	80,35	132,06
18/03/2019	3387,94	Short	3305,73	82,21	214,27
19/03/2019	3409	Short	3305,73	103,27	317,54

16/04/2019	3463,36	Short	3462,95	0,41	317,95
17/04/2019	3477,73	Short	3462,95	14,78	332,73
18/04/2019	3499,23	Short	3462,95	36,28	369,01
23/04/2019	3503,85	Short	3462,95	40,9	409,91
13/05/2019	3320,78	Long	3438,56	117,78	527,69
20/06/2019	3468,08	Short	3442,38	25,7	553,39
01/07/2019	3497,59	Short	3501,52	-3,93	549,46
02/07/2019	3507,98	Short	3501,52	6,46	555,92
03/07/2019	3540,63	Short	3501,52	39,11	595,03
04/07/2019	3544,15	Short	3501,52	42,63	637,66
05/08/2019	3310,93	Long	3438,56	127,63	765,29
06/08/2019	3291,66	Long	3357,16	65,5	830,79
15/08/2019	3282,78	Long	3394,89	112,11	942,9
04/09/2019	3450,83	Short	3413,31	37,52	980,42
05/09/2019	3484,7	Short	3413,31	71,39	1051,81
10/09/2019	3498,99	Short	3413,31	85,68	1137,49
11/09/2019	3516,82	Short	3413,31	103,51	1241
12/09/2019	3538,86	Short	3413,31	125,55	1366,55
13/09/2019	3550,11	Short	3413,31	136,8	1503,35
24/10/2019	3621,37	Short	3604,41	16,96	1520,31
25/10/2019	3624,68	Short	3604,41	20,27	1540,58
28/10/2019	3625,69	Short	3604,41	21,28	1561,86
04/11/2019	3665,21	Short	3687,32	-22,11	1539,75
05/11/2019	3676,52	Short	3687,32	-10,8	1528,95
06/11/2019	3688,74	Short	3687,32	1,42	1530,37
07/11/2019	3706,68	Short	3687,32	19,36	1549,73
12/11/2019	3712,2	Short	3687,32	24,88	1574,61
20/12/2019	3776,56	Short	3774,14	2,42	1577,03
27/12/2019	3782,27	Short	3774,14	8,13	1585,16
25/02/2020	3572,51	Long	2800,14	-772,37	812,79
27/02/2020	3455,92	Long	2800,14	-655,78	157,01
28/02/2020	3329,49	Long	2800,14	-529,35	-372,34
09/03/2020	2959,07	Long	2800,14	-158,93	-531,27
10/03/2020	2910,02	Long	2800,14	-109,88	-641,15
11/03/2020	2905,56	Long	2800,14	-105,42	-746,57
12/03/2020	2545,23	Long	2800,14	254,91	-491,66
16/03/2020	2450,37	Long	2800,14	349,77	-141,89
18/03/2020	2385,82	Long	2800,14	414,32	272,43
14/04/2020	2917,74	Short	2843,76	73,98	346,41
03/06/2020	3269,59	Short	3153,74	115,85	462,26
05/06/2020	3384,29	Short	3153,74	230,55	692,81
31/07/2020	3174,32	Long	3252,65	78,33	771,14
25/09/2020	3137,06	Long	3223,19	86,13	857,27
09/10/2020	3273,12	Short	3192,69	80,43	937,7

12/10/2020	3298,12	Short	3192,69	105,43	1043,13
28/10/2020	2963,54	Long	3161,07	197,53	1240,66
29/10/2020	2960,03	Long	3161,07	201,04	1441,7
30/10/2020	2958,21	Long	3161,07	202,86	1644,56
27/11/2020	3527,79	Short	3485,84	41,95	1686,51

Rete neurale – Trading system 2019-2020

Trade	Open	Posizione	Close	Net profit	EQUITY
05/02/2019	3215,04	Short	3283,6	-68,56	-68,56
28/02/2019	3298,26	Short	3283,6	14,66	-53,9
01/03/2019	3312,1	Short	3283,6	28,5	-25,4
04/03/2019	3317,12	Short	3283,6	33,52	8,12
05/03/2019	3327,19	Short	3283,6	43,59	51,71
06/03/2019	3324,67	Short	3283,6	41,07	92,78
15/03/2019	3386,08	Short	3305,73	80,35	173,13
18/03/2019	3387,94	Short	3305,73	82,21	255,34
19/03/2019	3409	Short	3305,73	103,27	358,61
16/04/2019	3463,36	Short	3462,95	0,41	359,02
17/04/2019	3477,73	Short	3462,95	14,78	373,8
18/04/2019	3499,23	Short	3462,95	36,28	410,08
23/04/2019	3503,85	Short	3462,95	40,9	450,98
24/04/2019	3502,63	Short	3462,95	39,68	490,66
13/05/2019	3320,78	Long	3438,56	117,78	608,44
20/06/2019	3468,08	Short	3442,38	25,7	634,14
21/06/2019	3466,92	Short	3442,38	24,54	658,68
24/06/2019	3455,57	Short	3442,38	13,19	671,87
02/07/2019	3507,98	Short	3501,52	6,46	678,33
03/07/2019	3540,63	Short	3501,52	39,11	717,44
04/07/2019	3544,15	Short	3501,52	42,63	760,07
05/07/2019	3527,98	Short	3501,52	26,46	786,53
05/08/2019	3310,93	Long	3357,16	46,23	832,76
06/08/2019	3291,66	Long	3357,16	65,5	898,26
04/09/2019	3450,83	Short	3413,31	37,52	935,78
05/09/2019	3484,7	Short	3413,31	71,39	1007,17
10/09/2019	3498,99	Short	3413,31	85,68	1092,85
11/09/2019	3516,82	Short	3413,31	103,51	1196,36
12/09/2019	3538,86	Short	3413,31	125,55	1321,91
13/09/2019	3550,11	Short	3413,31	136,8	1458,71
24/10/2019	3621,37	Short	3604,41	16,96	1475,67
25/10/2019	3624,68	Short	3604,41	20,27	1495,94
28/10/2019	3625,69	Short	3604,41	21,28	1517,22
29/10/2019	3622,09	Short	3604,41	17,68	1534,9

30/10/2019	3620,29	Short	3604,41	15,88	1550,78
06/11/2019	3688,74	Short	3687,32	1,42	1552,2
07/11/2019	3706,68	Short	3687,32	19,36	1571,56
08/11/2019	3699,65	Short	3687,32	12,33	1583,89
12/11/2019	3712,2	Short	3687,32	24,88	1608,77
27/02/2020	3455,92	Long	2800,14	-655,78	952,99
28/02/2020	3329,49	Long	2800,14	-529,35	423,64
09/03/2020	2959,07	Long	2800,14	-158,93	264,71
10/03/2020	2910,02	Long	2800,14	-109,88	154,83
11/03/2020	2905,56	Long	2800,14	-105,42	49,41
12/03/2020	2545,23	Long	2800,14	254,91	304,32
13/03/2020	2586,02	Long	2800,14	214,12	518,44
16/03/2020	2450,37	Long	2800,14	349,77	868,21
18/03/2020	2385,82	Long	2800,14	414,32	1282,53
03/06/2020	3269,59	Short	3153,74	115,85	1398,38
05/06/2020	3384,29	Short	3153,74	230,55	1628,93
31/07/2020	3174,32	Long	3252,65	78,33	1707,26
12/10/2020	3298,12	Short	3192,69	105,43	1812,69
28/10/2020	2963,54	Long	3161,07	197,53	2010,22
29/10/2020	2960,03	Long	3161,07	201,04	2211,26
30/10/2020	2958,21	Long	3161,07	202,86	2414,12
09/11/2020	3407,91	Short	3485,84	-77,93	2336,19
27/11/2020	3527,79	Short	3485,84	41,95	2378,14

Bibliografia

Defendi G., *L'analisi tecnica e i mercati finanziari. Figure grafiche, oscillatori e tecniche operative di base*, Milano, Hoepli, 2017

Malverti E., *Trading System vincenti. Le strategie operative utilizzate dagli investitori professionali*, Milano, Hoepli, 2013

Mazziero M., *Guida all'analisi tecnica. Principi, strumenti e metodi per capire i mercati finanziari*, Milano, Hoepli, 2014

Sitografia

Rumelhart David E., Hinton Geoffrey E., Williams Ronald J,
Learning representations by back-propagating errors,
https://www.iro.umontreal.ca/~vincentp/ift3395/lectures/backprop_old.pdf

Daniel F., Velay D., *Stock Chart Pattern recognition with Deep Learning*, 2018,
<https://arxiv.org/pdf/1808.00418.pdf>

Gallo C., *Costruzione di una Rete Neurale Artificiale per applicazioni Economico – Finanziarie*, <http://www.crescenziogallo.it/unifg/economia/RNAF/2011-2012/rna.pdf>

Behl S., Tondehal K., Zaman N, *A machine learning based stock trading framework using technical and economic analysis*, <http://cs229.stanford.edu/proj2017/final-reports/5234854.pdf>

<https://it.mathworks.com/help/deeplearning/ref/openloop.html>

<https://it.mathworks.com/help/deeplearning/ref/narxnet.html>

<https://it.mathworks.com/help/deeplearning/ug/maglev-modeling.html>

<https://it.mathworks.com/help/deeplearning/ref/nprtool.html>

<https://it.mathworks.com/help/deeplearning/ug/wine-classification.html>

<https://it.mathworks.com/help/deeplearning/gs/neural-network-time-series-prediction-and-modeling.html>

<https://it.mathworks.com/help/deeplearning/gs/fit-data-with-a-neural-network.html>

<https://it.mathworks.com/products/deep-learning.html>

<https://www.intelligenzaartificiale.it/reti-neurali/>

<https://www.ilsole24ore.com/art/machine-learning-deep-learning-e-reti-neurali-ecco-cosa-parliamo--AEaToEBH>

https://www.treccani.it/enciclopedia/storia-dei-concetti-e-delle-tecniche-nella-ricerca-sulle-reti-neurali_%28Frontiere-della-Vita%29/