



### **Strategia Macro per il Cambio EUR/USD: Analisi Integrata tra Politica Monetaria, Variabili Fondamentali e Divergenze Operative**

Prof. Giorgio Di Giorgio

---

RELATORE

Prof. Reichlin Pietro

---

CORRELATORE

Matr. 785661

---

CANDIDATO

# Indice

|                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introduzione</b>                                                                              | <b>4</b>  |
| 0.1 Obiettivi e contributi . . . . .                                                             | 4         |
| 0.2 Metodologia in sintesi . . . . .                                                             | 5         |
| 0.3 Struttura della tesi . . . . .                                                               | 5         |
| <b>1 Fondamenti macroeconomici e ruolo della politica monetaria</b>                              | <b>6</b>  |
| 1.1 Il tasso di cambio nell'economia moderna . . . . .                                           | 6         |
| 1.2 Teorie classiche: PPP, UIP e modello di Dornbusch . . . . .                                  | 7         |
| 1.2.1 La Parità dei Poteri di Acquisto (PPP) . . . . .                                           | 7         |
| 1.2.2 La Parità Scoperta dei Tassi d'Interesse (UIP) . . . . .                                   | 8         |
| 1.2.3 Il modello di Dornbusch e l'overshooting del tasso di cambio . . . . .                     | 9         |
| 1.3 Limiti empirici delle teorie standard e motivazione di un approccio integrato                | 10        |
| 1.4 Politica monetaria comparata: Federal Reserve vs Banca Centrale Europea                      | 12        |
| 1.4.1 Mandati e obiettivi: confronto tra Fed e BCE . . . . .                                     | 12        |
| 1.4.2 Strumenti di politica monetaria: convenzionali e non convenzionali                         | 13        |
| 1.4.3 La forward guidance: comunicazione e reazioni attese . . . . .                             | 14        |
| 1.5 Meccanismi di trasmissione monetaria e impatto sul tasso di cambio . . . . .                 | 15        |
| 1.6 Evidenze storiche delle divergenze monetarie sul cambio EUR/USD . . . . .                    | 17        |
| 1.6.1 La crisi del 2008: Fed aggressiva, BCE in ritardo e l'euro ai<br>massimi storici . . . . . | 17        |
| 1.6.2 Divergenza e QE nel 2014–2015: dollaro forte e euro in calo . . . . .                      | 18        |
| 1.6.3 Le divergenze del 2022: inflazione e rialzi record, euro verso la<br>parità . . . . .      | 19        |
| 1.7 Fair value e mispricing nel mercato valutario: concetti operativi . . . . .                  | 21        |
| <b>2 Architettura del modello EUR/USD</b>                                                        | <b>24</b> |
| 2.1 Obiettivi del modello: struttura e filosofia operativa . . . . .                             | 24        |
| 2.2 Pipeline dati e fonti gratuite . . . . .                                                     | 25        |
| 2.2.1 Look-ahead bias . . . . .                                                                  | 26        |

|          |                                                                                     |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3      | Variabili fondamentali e trasformazioni . . . . .                                   | 27        |
| 2.4      | Fair value e segnali di mispricing . . . . .                                        | 30        |
| 2.5      | Feature e segnali integrati . . . . .                                               | 33        |
| 2.5.1    | Labeling . . . . .                                                                  | 36        |
| 2.6      | Modello ensemble probabilistico . . . . .                                           | 36        |
| 2.6.1    | XGBoost . . . . .                                                                   | 37        |
| 2.6.2    | Elastic Net . . . . .                                                               | 37        |
| 2.6.3    | Il tuning degli iperparametri . . . . .                                             | 39        |
| 2.7      | Filtro di regime, rischio adattivo e operatività . . . . .                          | 39        |
| 2.7.1    | Filtro di regime . . . . .                                                          | 40        |
| 2.7.2    | Rischio additivo e position sizing . . . . .                                        | 40        |
| 2.7.3    | Operatività . . . . .                                                               | 41        |
| 2.8      | Logica automatica e condizioni di attivazione . . . . .                             | 42        |
| <b>3</b> | <b>Valutazione delle performance e robustezza del modello</b>                       | <b>44</b> |
| 3.1      | Metriche di valutazione: Sharpe, Drawdown, accuracy, edge . . . . .                 | 44        |
| 3.2      | Backtest storico: risultati, equity curve e analisi dei trade . . . . .             | 46        |
| 3.3      | Analisi del regime di mercato e comportamento del modello . . . . .                 | 50        |
| 3.4      | Robustezza del modello: soglie operative, parametri di rischio e ablation . . . . . | 52        |
| 3.4.1    | Ottimizzazione delle soglie operative (threshold sweep) . . . . .                   | 53        |
| 3.4.2    | Sweep dei parametri di rischio (SL/TP) . . . . .                                    | 54        |
| 3.4.3    | Ablation study: importanza dei gruppi di feature . . . . .                          | 56        |
| 3.5      | Stress test: scenari critici e risposta del modello . . . . .                       | 59        |
| 3.5.1    | Impatto di costi di transazione e slippage . . . . .                                | 59        |
| 3.5.2    | Dati rumorosi ed errori di etichettatura . . . . .                                  | 60        |
| 3.5.3    | Esecuzione parziale (fill rate) e blackout operativi . . . . .                      | 62        |
| 3.6      | Confronto con benchmark e strategie alternative . . . . .                           | 63        |
| 3.6.1    | Buy & Hold . . . . .                                                                | 64        |
| 3.6.2    | Carry Trade . . . . .                                                               | 64        |
| 3.6.3    | Strategia contrarian sul Fair Value . . . . .                                       | 66        |
| 3.7      | Esperimenti live su conto demo . . . . .                                            | 67        |
| 3.8      | Implicazioni operative e limiti del modello . . . . .                               | 68        |
|          | <b>Conclusioni</b>                                                                  | <b>71</b> |
|          | Risultati principali . . . . .                                                      | 71        |
|          | Implicazioni operative . . . . .                                                    | 72        |
|          | Limiti dello studio . . . . .                                                       | 72        |
|          | Sviluppi futuri . . . . .                                                           | 72        |

|                                              |           |
|----------------------------------------------|-----------|
| <b>Dichiarazione di originalità ed etica</b> | <b>74</b> |
| <b>Bibliografia</b>                          | <b>75</b> |

# Introduzione

L'andamento del tasso di cambio EUR/USD è uno dei temi più osservati della macro-finanza internazionale: riflette l'equilibrio fra condizioni monetarie, differenziali reali e fattori di rischio globali, incidendo su inflazione importata, competitività esterna e trasmissione della politica monetaria. La letteratura mostra come nessuna singola teoria spieghi in modo esauriente le dinamiche dei cambi nel breve periodo; al tempo stesso, i fondamentali offrono ancoraggi credibili sul medio-lungo termine. Su questa constatazione si fonda il lavoro: integrare valutazione macro e segnali quantitativi in un'unica strategia sistematica su EUR/USD, valutata con metodi rigorosi e con una gestione del rischio realistica.

## 0.1 Obiettivi e contributi

L'obiettivo generale è progettare, motivare e valutare una strategia macro-quant capace di individuare e sfruttare fasi di mispricing del cambio rispetto a un fair value dinamico. Tale finalità viene perseguita convogliando la necessità di offrire un contributo accademico squisitamente teorico con quella di giungere ad un risultato prettamente pratico e replicabile, pertanto vengono utilizzati dati e strumenti gratuiti completamente accessibili. I contributi attesi sono quattro:

1. Modello di fair value parsimonioso che combina parità di potere d'acquisto, differenziali di tassi (anche reali) e proxy di rischio/termini di scambio;
2. Integrazione multi-segnale: mispricing macro come bussola di fondo, conferme/tempi tramite feature tecniche e filtro di regime basato sulla volatilità;
3. Framework di validazione con walk-forward, metriche risk-adjusted, analisi per regimi e test di robustezza (soglie, SL/TP, ablation, costi, rumore, blackout operativi);
4. Evidenza empirica out-of-sample su un periodo recente ricco di shock (rialzi tassi, energia, risk-on/off), inclusa una prova forward in ambiente demo.

## 0.2 Metodologia in sintesi

La tesi adotta una pipeline daily che raccoglie serie ufficiali e di mercato; costruisce indicatori macro (PPP relativa, differenziali di rendimento, proxy di rischio/ToT), segnali tecnici e variabili di sentiment; stima un fair value giornaliero di EUR/USD; misura il mispricing come scostamento prezzo/fair; alimenta un modello probabilistico (lineare regolarizzato e/o tree-based) calibrato su etichette generate con tripla barriera e orizzonte operativo di alcune settimane. L'operatività è disciplinata da un filtro di regime e da risk management (volatility targeting, SL/TP proporzionali ad ATR, guard-rail su drawdown). La valutazione utilizza equity line, Sharpe, drawdown, distribuzione dei trade, analisi per regimi VIX e confronti con benchmark semplici (buy&hold, carry, regola contrarian su fair value).

## 0.3 Struttura della tesi

1. **Capitolo 1:** contesto teorico e motivazioni dell'approccio integrato; limiti delle teorie classiche; ruolo della politica monetaria comparata e del canale del cambio.
2. **Capitolo 2:** architettura della strategia: dati, feature, fair value, modello, filtro di regime e gestione del rischio; condizioni di attivazione automatica.
3. **Capitolo 3:** risultati e robustezza: backtest out-of-sample, analisi per regimi, stress test, ablation, confronto con benchmark, prime evidenze in forward test.
4. **Conclusioni:** implicazioni operative, limiti e sviluppi futuri (estensioni del set di feature, retraining periodico, generalizzazione ad altri cambi).

In questo impianto, la coerenza economica guida la modellizzazione (il fair value fornisce direzione di fondo), mentre la disciplina quantitativa mitiga i rischi tipici dei modelli discrezionali (timing, overfitting, sensibilità a shock). L'obiettivo non è “prevedere sempre” il cambio, ma prendere rischio solo quando l'edge è misurabile, mantenendo il profilo di volatilità e drawdown entro soglie compatibili con un utilizzo reale.

# Capitolo 1

## Fondamenti macroeconomici e ruolo della politica monetaria

### 1.1 Il tasso di cambio nell'economia moderna

Il tasso di cambio svolge un ruolo cruciale nelle economie avanzate, influenzando sia l'andamento del commercio internazionale sia la dinamica dei prezzi interni. Una valuta più debole tende a rendere più competitivi i beni esportati, stimolando la domanda estera, mentre una valuta più forte può frenare le esportazioni e favorire le importazioni. Allo stesso tempo, le variazioni del cambio incidono sui prezzi interni attraverso il costo dei beni importati: un deprezzamento del cambio aumenta il prezzo in valuta locale dei prodotti importati, contribuendo a maggiore inflazione, mentre un apprezzamento ha effetti opposti contenendo l'inflazione importata (**EP2016Divergent**). Tuttavia, grazie alla credibilità delle banche centrali e all'ancoraggio delle aspettative di inflazione, nelle economie avanzate il pass-through del cambio sui prezzi è relativamente contenuto rispetto alle economie emergenti (*Spillovers implications of US and euro area shocks* 2015). Ad esempio, si stima che una svalutazione del 10% di una valuta emergente possa aumentare i prezzi interni di circa il 2%, un effetto “several times larger” (più volte maggiore) di quello osservabile nelle economie avanzate (*Spillovers implications of US and euro area shocks* 2015). Ciò nonostante, anche nelle economie avanzate il tasso di cambio resta una variabile monitorata attentamente: oscillazioni marcate possono alterare le condizioni finanziarie e commerciali, con ripercussioni su crescita e stabilità dei prezzi. Non a caso, pur non perseguendo obiettivi di cambio fissi, le principali banche centrali riconoscono l'importanza del cambio. La Federal Reserve e la Banca Centrale Europea, ad esempio, lasciano generalmente fluttuare liberamente le rispettive valute sul mercato (free-floating), intervenendo molto raramente, ma tengono conto degli effetti del cambio sulle proprie prospettive macroeconomiche (*Annual report 2022 2023*). In sintesi, per le economie

avanzate un tasso di cambio equilibrato è fondamentale per mantenere la competitività internazionale senza compromettere la stabilità dei prezzi interni.

## **1.2 Teorie classiche: PPP, UIP e modello di Dornbusch**

Storicamente, l'analisi del mercato valutario si è basata su alcune teorie classiche che cercano di spiegare la determinazione del tasso di cambio in base a diversi fondamentali macroeconomici. Tra queste, le più rilevanti sono: (i) la Parità dei Poteri di Acquisto (Purchasing Power Parity, PPP), (ii) la Parità scoperta dei tassi d'interesse (Uncovered Interest Parity, UIP) e (iii) il modello di overshooting di Dornbusch (1976), basato sull'estensione del modello di Mundell-Fleming con aspettative razionali e prezzi vischiosi. Ciascuna di queste teorie fornisce intuizioni utili sul funzionamento del forex, sebbene presenti anche importanti limiti che verranno discussi in seguito.

### **1.2.1 La Parità dei Poteri di Acquisto (PPP)**

La teoria della parità dei poteri di acquisto postula che nel lungo periodo i tassi di cambio si adeguino per compensare le differenze nei livelli dei prezzi tra due economie. In base alla legge del prezzo unico (Law of One Price), in mercati perfettamente integrati e senza frizioni lo stesso bene dovrebbe avere ovunque il medesimo prezzo quando espresso in una valuta comune (Krugman Obstfeld Melitz 2018). Se così non fosse, arbitraggi tra i mercati porterebbero ad apprezzamenti o deprezzamenti della valuta fino a ristabilire la parità. Da questo principio deriva la PPP assoluta, secondo cui il tasso di cambio di equilibrio è dato dal rapporto tra i livelli dei prezzi interni dei due Paesi: una valuta dovrebbe apprezzarsi se nel Paese di riferimento i beni costano meno (a parità di valuta), e viceversa (Krugman Obstfeld Melitz 2018). In termini pratici, la PPP implica che differenziali persistenti di inflazione tra due Paesi saranno compensati da movimenti del cambio nel lungo periodo: ad esempio, se l'Area Euro avesse un'inflazione sistematicamente più alta degli Stati Uniti, l'euro tenderà a deprezzarsi rispetto al dollaro per mantenere il potere d'acquisto relativo costante. La teoria PPP, specie nella sua forma relativa, è stata a lungo considerata un determinante di lungo termine dei cambi e trova un certo riscontro empirico su orizzonti temporali ampi (Froot Rogoff 1995; Taylor Taylor 2004). In particolare tra economie avanzate con mercati aperti, l'ipotesi che i tassi di cambio gravitino intorno ai livelli dettati dai differenziali di prezzi (o di inflazione) è supportata da evidenze storiche. Tuttavia, nel breve periodo la PPP assoluta spesso non regge a causa di numerose frizioni: costi di trasporto, barriere tariffarie, tasse e soprattutto l'esistenza di beni e servizi non commerciabili possono determinare deviazioni anche prolungate

dal valore di parità(**KrugmanObstfeldMelitz2018**). Ad esempio, molti servizi locali non sono soggetti ad arbitraggio internazionale, e differenze di produttività tra settori *tradables* e *non tradables* (effetto Balassa–Samuelson) possono far sì che i prezzi interni divergano senza immediati aggiustamenti del cambio(**Balassa1964; Samuelson1964**). Ne consegue che il tasso di cambio reale può discostarsi dall’equilibrio di PPP anche per periodi estesi, pur mostrando una tendenza alla stazionarietà di lungo termine. In sintesi, la PPP fornisce un utile concetto di *fair value* di lungo periodo basato sui fondamentali di prezzo, ma risulta poco accurata per spiegare l’andamento dei cambi nel breve-medio termine, dove altri fattori entrano in gioco(**Rogoff1996**).

### 1.2.2 La Parità Scoperta dei Tassi d’Interesse (UIP)

La seconda teoria classica è la parità scoperta dei tassi d’interesse (UIP), che collega il tasso di cambio alle decisioni di portafoglio degli investitori internazionali. In base all’UIP, in assenza di copertura valutaria il differenziale tra i tassi d’interesse di due Paesi dovrebbe essere uguale all’aspettativa di deprezzamento o apprezzamento della valuta nel medesimo periodo.(Rogoff 2002; *Spillovers implications of US and euro area shocks* 2015) In altri termini, gli investitori dovrebbero essere indifferenti tra un deposito in euro e uno in dollari: se ad esempio i titoli in USD offrono un rendimento maggiore di quelli in EUR, il dollaro dovrebbe essere atteso deprezzarsi in misura proporzionale a questo differenziale, così che il rendimento atteso in valuta comune risulti lo stesso. Formalmente, UIP richiede che:

$$i_{EUR} - i_{USD} \approx \mathbb{E}_t[\% \Delta(EUR/USD)], \quad (1.1)$$

dove  $i_{EUR}$  e  $i_{USD}$  sono i tassi d’interesse in euro e in dollari, ed  $\mathbb{E}_t[\% \Delta(EUR/USD)]$  è la variazione percentuale attesa del cambio euro/dollaro (un valore positivo indica attesa di deprezzamento dell’euro). Questa è essenzialmente la condizione di assenza di arbitraggio sui mercati dei capitali internazionali: qualora un differenziale di tasso non fosse compensato da un aggiustamento atteso del cambio, vi sarebbe un incentivo a prendere a prestito nella valuta a tasso più basso per investire nella valuta a tasso più alto, strategia nota come *carry trade*.(*Foreign exchange: A long run, not a random walk* n. d.) Dal punto di vista teorico, l’UIP discende dall’ipotesi di perfetta mobilità dei capitali e sostituibilità degli asset finanziari tra Paesi: in equilibrio, tassi e aspettative di cambio si aggiustano per evitare guadagni arbitrari certi. Empiricamente, tuttavia, la UIP soffre di ben note anomalie. Numerosi studi mostrano che l’UIP non regge “esattamente” nella realtà – anzi, spesso si osserva il cosiddetto *forward premium puzzle*, per cui la valuta con il tasso d’interesse più alto tende ad apprezzarsi invece che deprezzarsi, sfidando la parità teorica.(Rogoff 2002) In altri termini, gli investitori che praticano il *carry trade*

spesso ottengono extra-rendimenti, segno che esiste un premio per il rischio (o per la scarsa liquidità) non catturato dalla semplice UIP. La divergenza tra teoria e dati può essere spiegata invocando fattori quali il rischio di cambio (che richiede un premio per essere sopportato), aspettative non razionali o vincoli e frizioni sui mercati. In sintesi, la UIP fornisce un quadro concettuale importante – enfatizzando il legame tra aspettative sui tassi e movimenti valutari – ma da sola non è in grado di spiegare molte dinamiche osservate dei cambi. Rimane però un tassello chiave per modelli più completi: ad esempio, l’UIP è uno dei pilastri del modello di Dornbusch e, come vedremo, delle relazioni attese tra mosse delle banche centrali e reazioni dei cambi.

### **1.2.3 Il modello di Dornbusch e l’overshooting del tasso di cambio**

Una delle teorie più influenti nella macro-finanza internazionale è il modello proposto da Rüdiger Dornbusch nel 1976, celebre per introdurre il concetto di *overshooting* (sovra-reattività) del tasso di cambio. Dornbusch combina due elementi chiave: la UIP nei mercati finanziari (aggiustamento rapido delle aspettative nei mercati valutari) e prezzi interni vischiosi (aggiustamento lento dei prezzi dei beni). Nel suo modello, quando si verifica uno shock monetario – ad esempio un aumento inatteso dell’offerta di moneta domestica – l’economia sperimenta effetti differenti nel breve e nel lungo periodo. Nel lungo periodo, assumendo neutralità della moneta, un’espansione monetaria permanente conduce semplicemente a una proporzionale crescita del livello dei prezzi interni e a una *depreciation* del tasso di cambio nominale consistente con la PPP (la moneta che perde potere d’acquisto si deprezza nella stessa proporzione). (Rogoff 2002) Nel breve periodo però, i prezzi interni non possono aggiustarsi istantaneamente a causa di rigidità nominali (ad esempio listini fissi, contratti salariali, ecc.). Ciò crea una situazione di squilibrio: immediatamente dopo lo shock monetario, l’offerta di moneta è eccedente rispetto alla domanda al livello di prezzi corrente, il che tende a far scendere i tassi d’interesse interni. Secondo la UIP, un tasso d’interesse domestico più basso può essere in equilibrio solo se il mercato si aspetta un futuro apprezzamento della valuta domestica rispetto a quella estera. (*Spillovers implications of US and euro area shocks* 2015) Ma sappiamo che nel lungo periodo l’effetto finale dell’espansione monetaria sarà un tasso di cambio più deprezzato (non apprezzato) rispetto allo stato iniziale, data la perdita di potere d’acquisto. Come possono conciliarsi queste due esigenze? Dornbusch dimostra che ciò è possibile se nell’immediato il cambio si deprezza ben oltre il suo nuovo valore di equilibrio di lungo periodo, in modo da risultare temporaneamente sottovalutato. Questa svalutazione iniziale eccessiva lascia spazio, col passare del tempo, a un graduale apprezzamento atteso della valuta (cioè un recupero) mano a mano che i prezzi interni si aggiustano verso l’alto. (Rogoff 2002) In tal modo, gli investitori possono accettare un tasso interno più basso (perché

compensato dall'atteso apprezzamento futuro della valuta) e al contempo l'economia si muove verso il nuovo equilibrio di prezzi più alti e valuta più debole. Questo meccanismo è l'*overshooting*: il cambio "spara oltre il bersaglio" nel breve periodo, per poi rientrare gradualmente. L'intuizione fondamentale è che la necessità di equilibrare rapidamente i mercati finanziari (capitali mobili, UIP) di fronte a uno shock, mentre i prezzi reali si muovono lentamente, richiede una volatilità extra del cambio. Il modello di Dornbusch spiega così perché i tassi di cambio sotto regimi di fluttuazione libera possono mostrare elevata volatilità e deviazioni persistenti dai valori di medio-lungo periodo: in presenza di shock monetari o di politica monetaria, si possono avere movimenti repentini e eccessivi del cambio rispetto ai fondamentali di breve termine, come reazione alle aspettative future. Questa teoria ha goduto di enorme risonanza ed è considerata una pietra miliare della macroeconomia internazionale, (Rogoff 2002) poiché fornì una spiegazione razionale alle forti oscillazioni dei cambi osservate dopo la fine di Bretton Woods, senza dover ricorrere a ipotesi di irrazionalità degli investitori. Va notato, tuttavia, che l'evidenza empirica sull'effettivo overshooting dei cambi è mista: alcune analisi trovano scarso supporto statistico all'idea che i movimenti istantanei del cambio eccedano sistematicamente quelli a termine o attesi. (Rogoff 2002; *Spillovers implications of US and euro area shocks* 2015) Ciò non toglie valore al modello Dornbusch–Mundell–Fleming come quadro generale per analizzare le interazioni tra politica monetaria e tassi di cambio: anche in assenza di overshooting perfetto, il modello fornisce un utile schema per interpretare come differenziali di tasso d'interesse, aspettative e rigidità dei prezzi concorrono a determinare il cambio nel breve e medio periodo.

### **1.3 Limiti empirici delle teorie standard e motivazione di un approccio integrato**

Le teorie classiche sopra descritte offrono ciascuna una prospettiva parziale sul mercato dei cambi. Tuttavia, l'esperienza empirica ha dimostrato che nessuna di esse, presa singolarmente, è in grado di spiegare in modo soddisfacente l'andamento dei tassi di cambio nelle economie avanzate. Già negli anni '80, celebri studi di Meese e Rogoff (1983) evidenziarono come i modelli basati su fondamentali macroeconomici faticassero a prevedere meglio di una semplice *random walk* l'evoluzione dei cambi a breve-medio termine. (Rogoff 2002) Questo risultato, spesso interpretato come *exchange rate disconnect puzzle*, suggeriva che i movimenti dei principali tassi di cambio flessibili fossero difficilmente riconducibili a pochi fondamentali economici osservabili, soprattutto su orizzonti inferiori ai 1–2 anni. In altre parole, "nothing, but nothing, can systematically explain exchange rates between major currencies" – nessuna variabile o modello è in grado di spiegare

sistematicamente le variazioni dei cambi tra valute di Paesi avanzati. (*Spillovers implications of US and euro area shocks* 2015) Tale consenso, emerso in forma radicale negli anni '80, rimane in buona parte valido ancora oggi, (*Spillovers implications of US and euro area shocks* 2015) nonostante i progressi nella modellistica (ad esempio incorporando fattori di rischio, aspettative eterogenee, ecc.).

I limiti empirici delle teorie standard si manifestano in vari modi. La PPP, ad esempio, funziona discretamente nel lungo periodo, ma nel breve le deviazioni possono persistere per anni e la velocità di convergenza al valore di parità è lenta (si stimano “half-life” delle deviazioni di PPP attorno ai 3–5 anni nelle economie avanzate). Ciò significa che fattori come preferenze dei consumatori, innovazioni tecnologiche, politiche commerciali e shock di offerta possono spostare i tassi di cambio reale in modo durevole senza che entrino immediatamente in gioco forze di arbitraggio correttive. Analogamente, la UIP soffre del noto *puzzle* del premio a termine: anziché vedere sistematicamente la valuta ad alto tasso deprezzarsi (come UIP predirebbe), spesso accade il contrario, segno della presenza di premi per il rischio o di aspettative non razionali. Anche il modello di Dornbusch, pur cogliendo alcuni importanti momenti di svolta legati alla politica monetaria (ad esempio la svolta “Volcker” di stretta monetaria negli USA nei primi anni '80, o l'inizio del QE in Eurozona a metà anni 2010), non riesce a spiegare tutte le oscillazioni osservate sui mercati valutari. (*Spillovers implications of US and euro area shocks* 2015) Vi sono infatti molti altri shock (di natura reale, finanziaria o politica) che influenzano i cambi e che esulano dall'impianto base monetario del modello.

Queste difficoltà spiegate hanno motivato la ricerca di un approccio integrato per l'analisi del *forex*, soprattutto nel caso del cambio EUR/USD che è influenzato da molteplici fattori macro-finanziari su entrambe le sponde dell'Atlantico. Un approccio macro integrato combina variabili monetarie (tassi d'interesse, massa monetaria, aspettative di inflazione), differenziali macroeconomici fondamentali (crescita economica, posizione dei conti con l'estero, produttività relativa) e logiche di divergenza nelle politiche economiche tra aree diverse. L'idea è che, per avere un quadro più completo, si debba considerare l'interazione di più driver: ad esempio, differenziali di crescita e inflazione influenzano il cambio attraverso il canale del conto corrente e della PPP, mentre le divergenze di politica monetaria (Fed vs BCE) agiscono via tassi d'interesse e flussi di capitale (canale UIP e Dornbusch). Inoltre, fattori di natura finanziaria (propensione al rischio globale, flussi di portafoglio, status di valuta di riserva) possono temporaneamente prevalere sui fondamentali tradizionali, causando *mispicing* o disallineamenti rispetto ai valori di equilibrio di medio termine. Per questo motivo, nella costruzione di modelli quantitativi di cambio – come quello proposto in questa tesi – risulta giustificato adottare un ventaglio di variabili e indicatori che catturino le diverse dimensioni: monetaria, reale e finanziaria. In sostanza, i fondamenti teorici

suggeriscono che nessun singolo “mantra” (né la sola PPP, né la sola UIP, ecc.) basta a descrivere il complesso comportamento dell’EUR/USD; un modello integrato cercherà quindi di fondere elementi di ciascuna teoria in un framework coerente e supportato da evidenza empirica aggiornata.

## **1.4 Politica monetaria comparata: Federal Reserve vs Banca Centrale Europea**

Tra i fattori chiave che influenzano il cambio euro-dollaro vi è la politica monetaria condotta dalle rispettive banche centrali, la Federal Reserve (Fed) negli Stati Uniti e la Banca Centrale Europea (BCE) nell’Eurozona. Le divergenze – reali o attese – nelle scelte di politica monetaria possono determinare movimenti significativi nei tassi di cambio, attraverso il canale dei tassi d’interesse e delle aspettative. È quindi opportuno esaminare comparativamente l’impostazione delle due banche centrali, considerando il loro mandato istituzionale, gli strumenti di cui dispongono (convenzionali e non) e l’uso della *forward guidance*, ovvero la comunicazione sulle future mosse di politica monetaria.

### **1.4.1 Mandati e obiettivi: confronto tra Fed e BCE**

La Fed e la BCE operano con mandati formalmente differenti, riflesso dei diversi contesti istituzionali. La Federal Reserve ha per legge un *dual mandate*, ovvero un doppio obiettivo: massimizzare l’occupazione e garantire la stabilità dei prezzi (intendendo per questa un’inflazione bassa e stabile, definita dal 2012 in un 2% a medio termine). La BCE, invece, ha un mandato gerarchico in cui la stabilità dei prezzi è l’obiettivo primario, e solo “senza pregiudizio” di questo la BCE può sostenere le politiche economiche generali dell’UE (tra cui crescita e occupazione). (**VoxEUComparative**; *Annual report 2022 2023*) In pratica, ciò significa che la Fed è tenuta esplicitamente a considerare sia l’inflazione sia la situazione del mercato del lavoro nelle sue decisioni (trade-off inflazione-disoccupazione), mentre la BCE focalizza l’azione sul mantenimento di un’inflazione intorno al 2% nel medio periodo. Va notato, tuttavia, che questa distinzione non implica necessariamente condotte divergenti in presenza di shock: anche la BCE, pur avendo un solo obiettivo primario, adotta un approccio simile a un *dual mandate de facto* quando calibra le sue mosse, giacché perseguire rigidamente l’inflazione a brevissimo termine ignorando completamente l’output avrebbe effetti destabilizzanti che contrasterebbero con la stabilità dei prezzi nel medio periodo. (**EP2016Divergent**; **VoxEUComparative**) In altri termini, la BCE, con il suo orizzonte “medio-termine” di politica monetaria, tollera deviazioni transitorie dell’inflazione dall’obiettivo per evitare inutili shock all’attività economica – una logica

non dissimile da quella di altre banche centrali con doppio mandato. **(EP2016Divergent)** Negli ultimi anni, entrambe le istituzioni hanno rivisto le proprie strategie: la Fed nel 2020 ha adottato un regime di *Flexible Average Inflation Targeting* (FAIT), mirato a raggiungere un'inflazione media del 2% nel tempo compensando periodi di *undershooting* con tolleranza di *overshooting* temporaneo; la BCE nel 2021 ha confermato l'obiettivo simmetrico del 2% (abbandonando la precedente formulazione “sotto ma vicino al 2%”) e chiarito che, se necessario, potrebbe accettare un'inflazione leggermente sopra il 2% per qualche tempo pur di ancorarla al target. **(VoxEUComparative; Annual report 2022 2023)** Queste evoluzioni strategiche mostrano come, pur partendo da basi legali differenti, Fed e BCE abbiano entrambe abbracciato una visione flessibile e simmetrica della stabilità dei prezzi.

#### **1.4.2 Strumenti di politica monetaria: convenzionali e non convenzionali**

Sul piano degli strumenti, Fed e BCE dispongono di arsenali in parte simili, anche se vi sono differenze importanti nella tradizione operativa. Entrambe utilizzano come strumento convenzionale principale i tassi di interesse di riferimento a breve termine: la Fed interviene sul tasso dei *federal funds* (attraverso operazioni di mercato aperto e strumenti come l'*Interest on Reserves*) fissando un *target range*, mentre la BCE fissa direttamente i tassi sulle operazioni principali di rifinanziamento, sul deposito *overnight* e sul prestito marginale, che costituiscono il *corridor* dei tassi monetari euro. In condizioni normali, l'orientamento di politica monetaria viene dunque segnalato da variazioni di questi tassi chiave, che influenzano a cascata i tassi di mercato e bancari. A partire dalla crisi finanziaria globale del 2008–2009, però, entrambi gli istituti hanno dovuto ampliare il proprio set di strumenti ricorrendo a misure non convenzionali per affrontare situazioni eccezionali (zero lower bound, frammentazione finanziaria, shock pandemici, ecc.). Tra gli strumenti non convenzionali vi sono soprattutto i programmi di acquisto di attività finanziarie su larga scala (*Quantitative Easing*, QE), utilizzati dalla Fed già dal 2008 e dalla BCE a partire dal 2015. La Fed ha lanciato vari round di QE (comprando Treasury e titoli legati a mutui ipotecari, MBS) dal 2008 in poi, espandendo enormemente il suo bilancio; la BCE, che inizialmente fu più lenta e riluttante, ha avviato il primo *Asset Purchase Programme* (APP) solo nel marzo 2015 e successivamente, negli anni seguenti e durante la pandemia, ha implementato programmi massicci come il PEPP (*Pandemic Emergency Purchase Programme*). Questa differenza di tempistica – Fed aggressiva e proattiva, BCE più graduale – è evidente nella narrativa comparata delle due banche centrali: “The US Federal Reserve lowered its policy rate from 5.25% a fine 2007 to 0.25% a fine 2008 e

iniziò il QE; la BCE invece, inizialmente, nel luglio 2008 addirittura alzò i tassi, tagliandoli poi più lentamente e solo nel 2015 intraprese un QE espansivo”.(**VoxEUComparative; EP2016Divergent**) L’uso prolungato di tassi di interesse negativi è un’altra distinzione: la BCE, per stimolare l’economia dell’Eurozona post-crisi del debito, ha portato il tasso sui depositi in territorio negativo dal 2014 fino al 2022, pratica che la Fed non ha mai adottato (mantenendo lo zero come limite effettivo inferiore). Questo ha implicazioni importanti: tassi negativi e acquisti di asset di diversa composizione (la BCE ha comprato molti titoli di Stato dei Paesi membri, operando in un contesto multi-sovrano) hanno effetti sul cambio potenzialmente diversi rispetto alle mosse della Fed. Riassumendo, la Fed e la BCE dispongono di strumenti analoghi – tassi, QE, operazioni su liquidità e crediti (es. le TLTRO della BCE) – ma le differenze nel loro utilizzo e nell’aggressività delle azioni possono generare divergenti condizioni monetarie tra le due aree, con riflessi importanti sull’EUR/USD.(**EP2016Divergent; Annual report 2022 2023**)

### 1.4.3 La forward guidance: comunicazione e reazioni attese

Un ulteriore aspetto di interesse comparato è la *forward guidance* adottata dalle due banche centrali. La *forward guidance* consiste nell’offrire al pubblico indicazioni esplicite sull’orientamento futuro della politica monetaria, allo scopo di influenzare le aspettative dei mercati e, tramite esse, l’intera curva dei rendimenti e le condizioni finanziarie. Entrambe le istituzioni hanno usato la *forward guidance* in risposta alla crisi finanziaria e ai periodi di tassi pressoché zero, seppur con stili differenti. La Fed introdusse forme di *forward guidance* già dal 2008–2012, inizialmente qualitative (“i tassi rimarranno eccezionalmente bassi per un periodo esteso”) poi anche quantitative/condizionate (nel 2012 indicò soglie di disoccupazione/inflazione da raggiungere prima di alzare i tassi). La BCE abbracciò la *forward guidance* un po’ più tardi, annunciandola formalmente nel luglio 2013 sotto la presidenza Draghi. In un importante discorso del 2014, Draghi spiegò che “with our forward guidance, we aim to give guidance on the expected level of future interest rates, removing uncertainty by strengthening communication on our reaction function”.(**BISDraghi2014**) In pratica, la BCE comunicava ai mercati che prevedeva di mantenere i tassi “ai livelli attuali o più bassi per un periodo prolungato”, data l’*outlook* di inflazione debole. Lo scopo era appiattire la curva dei rendimenti e ridurre la volatilità delle aspettative, specie in una fase in cui la BCE si trovava al limite inferiore dei tassi e voleva scongiurare premature strette finanziarie. La *forward guidance* della BCE fu unanimemente considerata efficace nel “flattening the money market yield curve” (appiattire la curva a breve), contribuendo a trasmettere l’accomodamento ai tassi a più lunga scadenza.(**BISDraghi2014; BISDraghi2015**) Analogamente, la Fed utilizzò la *guidance* per ancorare le aspettative di politica: ad esempio, dopo il picco della pandemia

COVID-19, la Fed indicò che avrebbe mantenuto i tassi zero fino a quando l'economia non avesse raggiunto la piena occupazione e l'inflazione fosse moderatamente sopra il 2% per qualche tempo (in linea col nuovo regime FAIT).(**VoxEUComparative**) Questa differenza di approccio – qualitativa vs quantitativa – riflette in parte differenze istituzionali: la Fed pubblica anche le *dot plots* delle proiezioni dei tassi dei membri del FOMC, offrendo indicazioni numeriche sul percorso atteso dei Fed Funds, mentre la BCE non fornisce proiezioni individuali sui tassi futuri, ma comunica scenario e *reaction function*. Entrambe, in ogni caso, hanno mostrato di considerare la *forward guidance* un complemento essenziale ai propri strumenti, soprattutto in situazioni di incertezza elevata. La comunicazione guidata può avere impatti sul cambio perché, influenzando le aspettative sui differenziali di tasso futuri, orienta i flussi di capitale: ad esempio, una *forward guidance dovish* (accomodante) della BCE mentre la Fed è percepita più *hawkish* (restrittiva) tende a indebolire l'euro contro il dollaro, e viceversa. Di recente, con il rialzo repentino dell'inflazione tra 2021 e 2022, entrambe le banche centrali hanno dovuto riconsiderare la *forward guidance*, rendendola più dipendente dai dati contingenti e meno “vincolante” per non perdere flessibilità. Questo è un promemoria che la credibilità e la chiarezza della comunicazione sono armi a doppio taglio: se mal calibrate, possono destabilizzare il mercato valutario; se ben utilizzate, possono invece allineare le aspettative di cambio agli obiettivi di politica monetaria in modo graduale e senza sorprese.

## 1.5 Meccanismi di trasmissione monetaria e impatto sul tasso di cambio

La politica monetaria influenza l'economia attraverso molteplici canali di trasmissione, e tra questi un ruolo di primo piano in un contesto aperto lo gioca il canale del tasso di cambio. È utile richiamare sinteticamente come una variazione dell'orientamento monetario – ad esempio un rialzo dei tassi guida – si propaghi all'economia e in particolare come incida sul valore della valuta e, tramite esso, sulle variabili reali e sui prezzi.

In generale, un aumento dei tassi di interesse domestici (o un irrigidimento monetario equivalente, come la riduzione della liquidità o del bilancio della banca centrale) tende a far apprezzare la valuta nazionale nel breve periodo. In base alla relazione di arbitraggio (UIP), infatti, un rialzo dei tassi interni, a parità di condizioni esterne, attira capitali dall'estero perché rende più remunerativi gli investimenti in quella valuta. Gli investitori globali aumentano la domanda di attività denominate nella valuta con tassi più alti, causando un apprezzamento di quest'ultima sui mercati valutari.(**NYFed2002Transmission**) Dal lato dell'economia reale, un rafforzamento valutario rende relativamente più costosi i beni domestici sui mercati internazionali, riducendo le esportazioni nette (mentre

incrementa il potere d'acquisto per importare) e quindi tendendo a raffreddare la domanda aggregata. **(NYFed2002Transmission)** Questo è il canale del cambio sulla domanda esterna: tassi più alti → cambio più forte → calo delle esportazioni nette → effetto restrittivo sull'attività economica. Contestualmente, vi è anche un canale diretto sui prezzi interni: un cambio più forte abbassa il costo dei beni importati, contribuendo a disinflazione (riduzione dei prezzi di importazione), mentre un cambio più debole alimenta inflazione importata aumentandone il costo. *(Annual report 2022 2023; Transmission mechanism n. d.)* Pertanto, il tasso di cambio funge da “acceleratore o freno” della politica monetaria: una stretta monetaria rafforza la valuta, amplificando l'effetto di contenimento dell'inflazione (sia tramite domanda più debole sia tramite prezzi importati più bassi); viceversa, una politica espansiva indebolisce la valuta, stimolando l'economia anche attraverso maggior competitività esterna e prezzi importati più alti (che alzano l'inflazione verso il target). **(EP2016Divergent)**

Vale la pena notare che l'intensità di questo canale può variare: in economie con forte apertura commerciale e prezzi interni flessibili, il canale del cambio può essere molto importante, mentre in economie più chiuse o con beni importati dal peso modesto nel paniere del consumatore, l'effetto sul CPI sarà minore. Come discusso nell'introduzione, nelle economie avanzate il *pass-through* del cambio all'inflazione è oggi relativamente limitato grazie alla credibilità delle banche centrali – in Eurozona, si stima che un deprezzamento dell'euro abbia un impatto contenuto e distribuito nel tempo sull'IPC, mentre in passato o in economie emergenti tali effetti erano più rapidi e pronunciati. *(Spillovers implications of US and euro area shocks 2015)* Ciò non significa che il canale del cambio sia trascurabile: soprattutto in periodi di grandi movimenti valutari, le banche centrali ne tengono conto. Ad esempio, un marcato apprezzamento dell'euro può spingere la BCE a toni più accomodanti per evitare un eccessivo ribasso dell'inflazione importata; simmetricamente, la Fed osserva l'indice del dollaro perché un dollaro troppo forte può deprimere l'export USA e contenere troppo l'inflazione. **(EP2016Divergent; Annual report 2022 2023)**

Oltre al tradizionale canale appena descritto (detto anche canale degli arbitraggi internazionali dei tassi), la trasmissione monetaria attraverso il cambio può includere effetti più finanziari. Un esempio è il fenomeno delle cosiddette “spillover” monetarie globali: se la Fed irrigidisce la sua politica, non solo attira capitali verso gli USA ma può anche causare stress nei mercati emergenti con debiti in dollari o valute ancorate, portando a movimenti di cambio ben più ampi del previsto (un *overshooting* di natura finanziaria). D'altro canto, politiche ultra-espansive possono incentivare operazioni di *carry trade* che indeboliscono strutturalmente la valuta con tasso più basso. In aggiunta, interventi comunicativi (*forward guidance*) o misure non convenzionali influenzano il cambio attraverso il *portfolio balance channel*: ad esempio, un QE che abbassa i rendimenti

dei titoli domestici spinge gli investitori a cercare rendimenti all'estero, vendendo la valuta domestica e deprezzandola. (EP2016Divergent; *Spillovers implications of US and euro area shocks* 2015) Tali meccanismi sono anch'essi parte di un approccio integrato alla trasmissione.

In sintesi, i meccanismi di trasmissione monetaria impattano il tasso di cambio soprattutto mediante i differenziali di interesse e le aspettative di mercato, e a loro volta le variazioni del cambio retroagiscono su inflazione e attività economica. Questo giustifica perché nel nostro modello integrato del cambio EUR/USD includeremo variabili monetarie (differenziali di tasso a breve e lungo, orientamenti di policy attesi) e fondamentali (per cogliere i canali reali e di inflazione) insieme, al fine di catturare pienamente l'interazione tra politica monetaria e dinamica valutaria.

## 1.6 Evidenze storiche delle divergenze monetarie sul cambio EUR/USD

Nel corso delle ultime decadi, il cambio euro/dollaro (e prima ancora il cambio tra il dollaro e le valute europee, ad esempio il marco tedesco) ha subito oscillazioni significative in corrispondenza di fasi di divergenza nelle politiche monetarie tra le due sponde dell'Atlantico. In questo paragrafo esamineremo brevemente tre episodi emblematici: (i) la crisi finanziaria globale del 2008, (ii) il ciclo divergente del 2014–2015 e (iii) le divergenze osservate nel 2022. In ciascun caso, le decisioni – o le attese – differenti tra Fed e BCE hanno contribuito a movimenti rilevanti del tasso di cambio, offrendo evidenza del nesso tra *monetary policy divergence* e forex.

### 1.6.1 La crisi del 2008: Fed aggressiva, BCE in ritardo e l'euro ai massimi storici

Nei primi anni del nuovo millennio, l'euro attraversò una fase di forte apprezzamento contro il dollaro, raggiungendo a metà 2008 livelli storicamente elevati (circa 1,60 USD per 1 EUR). Questo movimento può essere ricondotto in parte all'andamento divergente delle politiche monetarie di allora: la Federal Reserve, di fronte allo scoppio della bolla immobiliare e ai segnali di recessione negli USA, intraprese dal settembre 2007 una rapida serie di tagli dei tassi, portando il *federal funds rate* dal 5,25% all'intervallo 0–0,25% entro dicembre 2008, accompagnando poi ciò con le prime misure di *quantitative easing*. (VoxEUComparative) La BCE, invece, inizialmente mantenne un approccio più restrittivo preoccupandosi dell'inflazione (che nel 2008 era salita per via dei prezzi delle materie prime): emblematicamente, a luglio 2008 la BCE aumentò il tasso di riferimento

al 4,25%, il livello più alto dalla nascita dell'euro, proprio mentre la Fed aveva già drasticamente ridotto il costo del denaro. **(VoxEUComparative)** Questo differenziale di tasso di interesse e di orientamento (Fed espansiva vs BCE restrittiva) fu uno dei fattori che spinse l'euro al rialzo verso l'estate 2008. **(EBC2025Blog)** In quel picco, i mercati valutari scontavano un'Eurozona ancora in relativamente buona salute e una Fed molto più accomodante: gli investitori trovavano attraenti i rendimenti in euro, spingendo la domanda di euro e l'apprezzamento. Tuttavia, con l'acuirsi della crisi finanziaria globale dopo il fallimento di Lehman Brothers (settembre 2008), lo scenario cambiò radicalmente: la BCE si unì (seppur in ritardo) al ciclo di tagli coordinati l'8 ottobre 2008, iniziando a ridurre i tassi che scesero fino al 2% nel giro di pochi mesi. **(VoxEUComparative)** Allo stesso tempo, aumentò la propensione per gli asset sicuri in USD – il dollaro fungeva da bene rifugio in piena crisi di liquidità globale. Il risultato fu un rapido capovolgimento: dall'autunno 2008 l'euro iniziò a deprezzarsi fortemente, scendendo sotto 1,30 USD entro fine anno (dopo essere stato a 1,60 pochi mesi prima). In conclusione, l'episodio 2007–2008 mostra come una divergenza iniziale (Fed che allenta, BCE no) portò l'euro a un forte apprezzamento – ritenuto da molti sopravvalutato rispetto ai fondamentali – seguito poi da un ri-allineamento quando anche la BCE dovette allentare e le dinamiche di avversione al rischio favorirono il dollaro. La lezione di quell'episodio è che un ritardo o un approccio difforme nelle risposte monetarie a shock comuni può riflettersi immediatamente sul forex: nel 2008 la BCE, rimanendo più a lungo su posizioni restrittive, contribuì (indirettamente e involontariamente) a far raggiungere all'euro quotazioni elevate, per poi invertire rotta una volta riconosciuta la gravità della crisi.

### **1.6.2 Divergenza e QE nel 2014–2015: dollaro forte e euro in calo**

Un secondo esempio lampante di divergenza monetaria si ebbe tra il 2014 e il 2015. In quegli anni gli Stati Uniti si trovavano in una fase di ripresa sostenuta post-crisi finanziaria e Grande Recessione, con un mercato del lavoro in miglioramento e un'inflazione prossima al target, mentre l'Eurozona affrontava una ripresa molto più stentata, rischi di deflazione e le conseguenze della crisi dei debiti sovrani (specie nei Paesi periferici). Questa situazione portò le due banche centrali su traiettorie opposte: la Federal Reserve terminò il suo programma di QE (QE3) nell'ottobre 2014 e iniziò a prospettare la normalizzazione dei tassi, tanto che a dicembre 2015 effettuò il primo rialzo portando i *Fed Funds* allo 0,25–0,50%. **(EP2016Divergent)** La BCE, al contrario, lanciò proprio nel 2015 il suo primo programma esteso di acquisto di titoli: a gennaio 2015 annunciò un QE da 60 miliardi al mese (APP), partito a marzo, e aveva precedentemente tagliato i tassi fino allo 0,05% (principale) e -0,20% (deposito) nel 2014. Inoltre, la BCE comunicò che i tassi sarebbero rimasti bassissimi a lungo e che il QE sarebbe proseguito “almeno fino a settembre 2016”

(poi esteso), segnalando quindi un impegno a mantenere una politica ultra-espansiva fino a quando l'inflazione non si fosse riavvicinata al 2%. La Fed invece, pur con cautela, parlava ormai di rialzi gradualisti. Questa divergenza di *stance* fu percepita chiaramente dai mercati: il risultato fu un marcato rafforzamento del dollaro e un indebolimento dell'euro a partire dalla metà del 2014 e per tutto il 2015. (OFRDollar2015) L'euro, che nella prima metà del 2014 era intorno a 1,35 USD, calò fino a toccare circa 1,05 a marzo 2015, poco dopo l'avvio del QE della BCE – un deprezzamento di circa il 20% in meno di un anno. Le cause di questo movimento risiedono nel differenziale di tasso e nelle aspettative: i titoli in dollari offrivano rendimenti crescenti in previsione dei rialzi Fed, mentre quelli in euro vedevano rendimenti cadere (addirittura negativi su molte scadenze) a causa degli acquisti BCE. (EP2016Divergent) I flussi di capitale si diressero verso attivi in USD, facendo salire il dollaro. Lo stesso staff BCE riconosceva che “l’aspettativa di un ampliamento del QE ha dato forte impulso a un indebolimento dell’euro nella seconda metà del 2014”. (Spillovers implications of US and euro area shocks 2015) Dal lato macroeconomico, questo deprezzamento dell’euro ebbe effetti significativi: da un lato sostenne la ripresa europea migliorando le esportazioni, dall’altro contribuì a risollevare l’inflazione importata, allontanando lo spettro deflazionistico. (EP2016Divergent) Si può dunque considerare un esito desiderabile dal punto di vista della BCE. Per contro, gli USA videro il dollaro forte pesare su alcune industrie orientate all’export e comprimere leggermente l’inflazione, fattore che infatti la Fed monitorava. L’episodio 2014–15 è quindi paradigmatico: in presenza di fasi cicliche diverse (USA in crescita vigorosa, Eurozona in rallentamento) e politiche monetarie in direzioni opposte, il forex ha reagito con un grande spostamento di valore, allineandosi ai nuovi fondamentali monetari. La divergenza fu “sizeable even from a historical perspective” (EP2016Divergent) e la lezione appresa è l’importanza della comunicazione: infatti, parte del deprezzamento dell’euro avvenne già prima che il QE fosse effettivamente implementato, guidato dalle aspettative di mercato che scontavano mosse divergenti Fed–BCE. Ciò mette in luce come l’approccio integrato debba tenere conto non solo delle mosse effettive, ma anche delle aspettative e del sentiment divergente tra aree economiche.

### **1.6.3 Le divergenze del 2022: inflazione e rialzi record, euro verso la parità**

Un terzo caso, molto recente, di divergenza monetaria rilevante si è manifestato nel 2022 in concomitanza con la forte fiammata inflazionistica post-pandemia e la guerra in Ucraina. In tale frangente, entrambe le banche centrali si sono mosse verso la normalizzazione e poi la restrizione monetaria, ma la Fed è partita in netto anticipo e modo più aggressivo

rispetto alla BCE. A inizio 2022 l'inflazione USA aveva superato il 7% e la Fed iniziò ad aumentare i tassi già da marzo 2022, effettuando poi una serie di rialzi rapidi (anche da 75 punti base ciascuno) che portarono il *fed funds* dal livello zero fino oltre il 4% entro fine anno. La BCE, invece, si trovava di fronte a una situazione complessa: l'inflazione stava salendo vertiginosamente anche in Eurozona (dall'8% fino a oltre il 10% in autunno), ma inizialmente c'era cautela dovuta ai timori di recessione e allo shock energetico. La BCE terminò gli acquisti netti APP solo a fine giugno 2022 e alzò i tassi per la prima volta dopo 11 anni solo a luglio 2022 (di 50 punti base), procedendo poi con ulteriori rialzi in autunno. Dunque, per gran parte del primo semestre 2022 si è assistito a un allargamento rapido del differenziale di tasso a favore del dollaro, con i mercati che prezzavano molti più rialzi Fed che BCE. Allo stesso tempo, l'Europa pativa uno shock energetico severo per via della guerra (rischio gas russo) che deteriorava i termini di scambio, mentre gli USA come esportatori di energia ne traevano meno svantaggi. Questi elementi combinati hanno prodotto un marcato rafforzamento del dollaro: nel 2022 il dollaro si è apprezzato contro praticamente tutte le valute mondiali, e in particolare contro l'euro. L'euro è sceso al punto da raggiungere la parità col dollaro a luglio 2022 per la prima volta in vent'anni, e addirittura brevemente sotto (fino a circa 0,96 USD) a settembre 2022. **(EBC2025Blog)** I dati ufficiali mostrano che su base annua nel 2022 l'euro si è depreziato di circa il 6% contro il dollaro. *(Annual report 2022 2023)* La BCE nel suo Rapporto Annuale nota come “il dollaro si è rafforzato contro la maggior parte delle altre valute, grazie all'aggressiva stretta monetaria della Fed e al generale clima di avversione al rischio globale”, mentre l'euro, indebolendosi, ha perso valore bilaterale contro USD pur restando più stabile in termini di cambio effettivo (dato che si era nel contempo apprezzato verso altre valute minori). *(Annual report 2022 2023)* In sostanza, nel 2022 la divergenza tra una Fed “ahead of the curve” e una BCE più graduale, unita alle tensioni geopolitiche europee, ha innescato un forte flusso verso il dollaro. Per gli USA, il dollaro forte ha contribuito a moderare l'inflazione importata ma ha reso più onerose le esportazioni; per l'Eurozona, l'euro debole ha aggravato il costo in euro delle *commodity* importate (in particolare dell'energia pagata in dollari) – alimentando in parte l'inflazione stessa – ma ha anche fornito un sostegno alle esportazioni in un momento critico. Verso fine 2022, con la BCE che intensificava i rialzi e alcuni segnali di rallentamento USA, il cambio ha recuperato sopra la parità. Cionondimeno, l'episodio rimarca come “ogni extra passo di divergenza può spostare significativamente il cambio euro/dollaro” **(Reuters2024Dolan)**: stime di mercato suggerivano che per ogni 25 punti base di differenza in più tra i tagli BCE e Fed attesi, l'euro potesse variare di circa l'1%. **(Reuters2024Dolan)** Questo evidenzia una sensibilità elevata del forex alle aspettative relative di politica monetaria, sensibilità amplificata in periodi di incertezza.

Dalla rassegna di questi tre casi storici, si evince chiaramente che le divergenze monetarie costituiscono un driver fondamentale delle fluttuazioni EUR/USD. Le implicazioni operative sono che, nella costruzione di una strategia macro sul forex, occorre attentamente monitorare e analizzare non solo le decisioni effettive di Fed e BCE, ma anche il contesto macro in cui avvengono (ciclo economico, shock esogeni) e la comunicazione *forward-looking* delle banche centrali. Ciò supporta l'adozione di un modello quantitativo integrato che incorpori indicatori di *policy stance* relativi (differenziali di tasso, dimensioni dei bilanci, indicatori di aspettative come i tassi *forward* o *swap*) per catturare i segnali di possibili divergenze future, accanto ai fondamentali tradizionali.

## 1.7 Fair value e mispricing nel mercato valutario: concetti operativi

Un ultimo concetto chiave per un approccio macro integrato al forex è quello di *fair value* del tasso di cambio e del relativo *mispricing* (o *misalignment*). Per *fair value* di una valuta si intende il suo valore “equo” o di equilibrio di medio-lungo termine, giustificato dai fondamentali dell'economia – in altre parole, il livello del tasso di cambio verso cui ci si aspetterebbe che converga nel tempo in assenza di shock, quando le variabili fondamentali (come inflazione, produttività, saldo delle partite correnti, ecc.) sono in equilibrio. Concettualmente, il *fair value* può essere pensato come il tasso di cambio coerente con la parità dei poteri d'acquisto di lungo periodo, eventualmente aggiustata per altri fattori strutturali (ad esempio differenziali di produttività tramite l'effetto Balassa–Samuelson, posizione esterna netta, termini di scambio). Diverse metodologie sono state sviluppate per stimare il *fair value*: dai semplici confronti di tassi di cambio effettivi reali rispetto alle medie storiche o ai livelli impliciti da differenziali di inflazione (PPP relativa), a modelli più complessi come il *BEER* (*Behavioral Equilibrium Exchange Rate*), che regredisce il tasso di cambio reale su fondamentali economici di medio termine, (Annual report 2022 2023; European Central Bank (ECB) 2021) o il *FEER* (*Fundamental Equilibrium Exchange Rate*), che individua il cambio che realizzerebbe un equilibrio di conto corrente sostenibile nel medio periodo. Ad esempio, nel 2021 un'analisi della BCE considerava un insieme di fondamentali (PIL pro capite relativo, posizione netta sull'estero, ragioni di scambio) per stimare un *fair value* dell'euro in termini reali tramite un modello *BEER*. (European Central Bank (ECB) 2021) Naturalmente, stime diverse possono dare risultati leggermente differenti e c'è un margine di incertezza; spesso si parla di *banda* di equilibrio più che di un singolo numero preciso.

Il concetto di *mispricing* (o *misalignment*) si riferisce alla deviazione del tasso di cambio di mercato rispetto a questo *fair value*. In altre parole, se l'euro dollaro è scambiato

a un livello significativamente diverso da quello indicato dai fondamentali, possiamo dire che l'euro risulta sopravvalutato (*overvaluation*) o sottovalutato (*undervaluation*) rispetto al dollaro. Ad esempio, durante alcuni periodi come il 2008 discusso sopra, molti indicatori suggerivano che l'euro fosse *overvalued* rispetto al suo valore di equilibrio, mentre dopo forti deprezzamenti (es. 2015 o fine 2022) poteva risultare *undervalued*. Determinare il grado di *mispricing* è importante sia per la politica economica (le autorità valutano se il cambio è “fuori linea” e potenzialmente problematico per competitività o inflazione) sia per una strategia di trading/investimento macro: comprare una valuta sottovalutata e vendere una sopravvalutata può offrire rendimenti quando eventualmente il cambio tornerà verso l'equilibrio.

Va però sottolineato che i cambi possono restare disallineati dai fondamentali per lunghi periodi. Un celebre detto recita: “the market can stay irrational longer than you can stay solvent” – cioè il mercato può mantenere valutazioni distorte più a lungo di quanto un investitore possa restare liquido. Numerosi studi hanno confermato che, sebbene esista una tendenza al ritorno verso l'equilibrio (*mean-reversion*) nel lungo periodo, nell'orizzonte di qualche anno i tassi di cambio possono fluttuare anche molto lontano dai valori giustificati dalle variabili macro, sospinti da fattori finanziari, ciclici o psicologici. Un'analisi su campioni storici ha mostrato ad esempio che circa il 50% dei disallineamenti di un cambio reale tende ad aggiustarsi entro 3–5 anni, ma una parte permane più a lungo. (*Annual report 2022 2023*; European Central Bank (ECB) 2021) Dunque, il *fair value* non va interpretato come un centro di gravità immediata, bensì come un'attrattore di lungo termine.

Operativamente, guardare al *fair value* come “ancora” può aiutare a identificare opportunità di investimento e trade nel forex. Ad esempio, un investitore di lungo periodo può decidere di accumulare una valuta che appare sottovalutata rispetto ai fondamentali, con l'idea che nel tempo tornerà verso quell'equilibrio, generando un guadagno sia in conto capitale sia eventualmente di interesse (*carry*). Nel contesto di questa tesi, integrare il concetto di *fair value* significa incorporare metriche di valutazione del cambio EUR/USD basate su fondamentali monetari e reali, per stimare se e quanto l'attuale quotazione si discosti da tali valori. Uno sforzo in tal senso implica combinare le diverse teorie: ad esempio, partendo dalla PPP aggiustata per produttività, tenendo conto però anche dei differenziali di tasso d'interesse persistenti e delle esigenze di equilibrio esterno. Una frase che riassume bene questo approccio è: “in the long run, exchange rates revert to inflation differentials adjusted for productivity, while in the short run they are driven by interest rates and other factors – this mismatch creates mispricing”. (**ActisInsight**) In altre parole, se nel lungo termine i cambi riflettono i fondamentali reali (prezzi e produttività relativa), mentre nel breve i mercati li muovono in base a tassi e *sentiment*, allora si generano disallineamenti che rappresentano opportunità di investimento. (**ActisInsight**)

Per l'EUR/USD, negli ultimi anni diverse istituzioni hanno provato a calcolarne il *fair value*: ad esempio il Fondo Monetario Internazionale, nei suoi *External Sector Report*, ha spesso ritenuto l'euro “moderatamente sottovalutato” o “allineato” a seconda dei casi, basandosi su modelli multilaterali di equilibrio di conto corrente; alcune banche d'affari utilizzano approcci *BEER* e trovano a volte che una *fair value band* per EUR/USD possa essere attorno a 1,20 (come nel caso di BBVA Research che indicava un intervallo 1,10–1,20), **(EBC2025Blog)** implicando che ai valori di fine 2022 (vicini alla parità) l'euro fosse sottovalutato e avesse margine di recupero. Queste valutazioni naturalmente vanno prese con cautela, ma rendono l'idea di come la nozione di *fair value* entri nel discorso strategico. In conclusione, per una strategia macro sul cambio EUR/USD risulta fondamentale:

- Stimare un *fair value* di riferimento basato su variabili di fondo (differenziali di inflazione, modelli *BEER* o simili) per avere un'idea del punto di equilibrio.
- Valutare il *mispricing* corrente confrontando il valore di mercato con tale riferimento, tenendo presente gli intervalli di incertezza.
- Analizzare le ragioni del *mispricing*: sono giustificate da fattori ciclici (es. divergenze temporanee di politica monetaria, shock di rischio) oppure il mercato sta esagerando (*overshooting* finanziario)?
- Formulare la strategia tenendo conto che, se esiste *mispricing*, la correzione potrebbe richiedere tempo e avvenire non linearmente. Spesso serve un *catalyst* (es. un cambiamento di politiche o di cicli) perché il cambio inizi a riavvicinarsi al *fair value*.

Nel capitolo seguente si passerà a declinare operativamente questi concetti, presentando un modello quantitativo integrato che utilizza variabili monetarie (tassi, base monetaria), differenziali macro (crescita, inflazione, conti esteri) e indicatori di divergenza di *policy* per stimare il *fair value* dell'EUR/USD e identificare fasi di *mispricing* sfruttabili per decisioni di trading o copertura. Questo approccio, fondato sui principi teorici qui esposti e corroborato da evidenze storiche, mira a offrire uno strumento rigoroso ma al tempo stesso flessibile e realistico per comprendere e prevedere le oscillazioni del principale tasso di cambio globale.

## Capitolo 2

# Architettura del modello EUR/USD: approccio integrato e automazione monetaria, variabili fondamentali e trading automatizzato

### 2.1 Obiettivi del modello: struttura e filosofia operativa

L'obiettivo di questo modello operativo automatizzato su EUR/USD è combinare analisi macroeconomica e segnali quantitativi tecnici in un'unica strategia coerente. La filosofia di base è integrare diversi approcci – valutazione *fair value* macro, segnali di divergenza dal valore fondamentale, indicazioni di momentum/mean-reversion, analisi di volatilità e filtri di regime – in modo da sfruttare le complementarità di ciascuno. In altri termini, il modello cerca di unire la prospettiva fondamentale (es. differenziali di tasso, parità di potere d'acquisto, politica monetaria) con quella quantitativa/tecnica (es. indicatori di trend e volatilità) e con un'attenta gestione del rischio *data-driven*, così da creare un sistema di trading robusto e adattivo.

Dal punto di vista operativo, il modello è concepito per operare in modo sistematico e automatizzato sul cambio EUR/USD, riducendo il ruolo di decisioni discrezionali ed emotive. Ciò consente di mantenere disciplina e coerenza nell'esecuzione: le posizioni vengono aperte e chiuse in base a regole predefinite e segnali quantitativi, assicurando reattività ai cambiamenti di mercato e neutralità rispetto ai *bias* umani. Al tempo stesso, la strategia incorpora la logica tipica di un approccio macro “discrezionale” (valutazione della valuta rispetto ai fondamentali economici) traducendola però in modo algoritmico. Questa filosofia ibrida permette di beneficiare delle intuizioni macroeconomiche di lungo periodo (come il valore equo o *fair value* stimato dell'euro) senza rinunciare alla tempestività e al

rigore statistico offerti dall'analisi quantitativa.

In sintesi, il modello mira a identificare inefficienze o *mispricing* significativi del cambio EUR/USD rispetto ai fondamentali e a capitalizzarli attraverso segnali di trading ottimizzati, il tutto contenuto entro un quadro di rigoroso controllo del rischio. L'approccio multi-logica (non un puro *trend-following* o un puro *mean-reversion*, ma una combinazione ragionata) è pensato per aumentare la robustezza della strategia: in diversi contesti di mercato, differenti componenti (macro vs tecnico, *trend* vs *contrarian*) possono prevalere. Integrandole, il modello si adatta meglio ai vari regimi di mercato e riduce la dipendenza da un'unica fonte di *alfa*.

## 2.2 Pipeline dati e fonti gratuite

Per realizzare questo modello integrato, è stata predisposta una *pipeline* dati che utilizza fonti di dati gratuite e accessibili. La raccolta dei dati è il primo tassello fondamentale: il sistema sfrutta diverse API e database pubblici per ottenere sia informazioni macroeconomiche sia serie storiche di mercato. In particolare:

- **FRED (Federal Reserve Economic Data)** – repository gratuito della Fed di St. Louis, utilizzato per dati macroeconomici ufficiali (tassi di interesse, indici di prezzi, ecc.).(*Federal Reserve Economic Data (FRED)* n. d.) FRED mette a disposizione centinaia di migliaia di serie temporali economiche provenienti da decine di fonti istituzionali(*Federal Reserve Economic Data (FRED)* n. d.) ed è quindi ideale per ottenere indicatori come tassi ufficiali delle banche centrali, rendimenti obbligazionari, indici dei prezzi al consumo, indici di volatilità (VIX), ecc.
- **Alpha Vantage** – servizio gratuito che fornisce dati finanziari in tempo reale e storici tramite API.(*alphavantage: Lightweight interface to the Alpha Vantage API* n. d.) Nel progetto è stato impiegato per ottenere le quotazioni *daily* del cambio EUR/USD (serie storica dei prezzi di chiusura, massimi, minimi, volumi se disponibili). Alpha Vantage offre API libere per azioni, *forex*, *crypto* e altro, risultando una valida alternativa a fonti a pagamento, con un'accuratezza comparabile a Yahoo Finance o Google Finance.(*alphavantage: Lightweight interface to the Alpha Vantage API* n. d.)Ciò consente al modello di avere il dato aggiornato sul prezzo dell'euro-dollaro quotidianamente, indispensabile sia per calcolare indicatori tecnici sia per valutare il *mispricing* rispetto ai fondamentali.
- **COT CFTC** – i report del *Commitment of Traders* della Commodity Futures Trading Commission, disponibili gratuitamente, forniscono informazioni sul posizionamento dei vari attori nel mercato dei futures (commerciali vs non-commerciali). Tali

dati vengono usati come *proxy* di *sentiment* di mercato sull'euro. In particolare, il dataset COT settimanale scompone le posizioni nette dei trader speculativi su futures EUR (long e short). Questo report è comunemente considerato un indicatore per analizzare il *sentiment*: molti trader ne osservano l'evoluzione per decidere se posizionarsi long o short sulla base di come i "non-commercial" (speculatori) stanno puntando investing.com.(**CFTCSpecEUR**) Integrare il COT nel modello offre quindi un segnale sul *sentiment* generale e sulle posizioni estreme che potrebbero anticipare inversioni (ad es. posizionamenti estremamente *net-long* o *net-short* degli speculatori spesso preannunciano un esaurimento del *trend* in atto).

- **FXCM** – broker *forex* che fornisce API gratuite per dati di mercato ed esecuzione.(**FXCMApiDocs**) Nel progetto, FXCM (o in alternativa broker simili come OANDA) è sfruttato sia come fonte di dati storici supplementari (es. dati *intraday* o *tick* se necessari, grazie all'accesso libero a repository di prezzi storici offerto da FXCM fino a ~10 anni(**FXCMApiDocs**)), sia come canale per l'esecuzione automatica delle operazioni tramite le sue API di trading. L'utilizzo di un broker con API aperte consente al sistema di connettersi direttamente al mercato: il modello può inviare ordini di acquisto/vendita su EUR/USD in modo programmatico e monitorare le posizioni in tempo reale, il tutto senza intervento umano. Ciò è essenziale per l'operatività algoritmica *live*: la *pipeline* ogni giorno aggiorna i dati, genera segnali e – se ricorrono le condizioni – invia ordini al broker via API, garantendo che la strategia sia effettivamente implementata sul mercato.

### 2.2.1 Look-ahead bias

La *pipeline* dei dati è progettata quindi per raccogliere quotidianamente i nuovi valori da queste fonti, unificarli e preprocessarli. Si opera a frequenza *daily*, allineando tutte le serie temporali al calendario lavorativo (escludendo weekend e festivi in cui il *forex* è chiuso). Un aspetto importante è la sincronizzazione e il *lag*: molte variabili macro sono pubblicate con ritardo (ad es. i dati COT escono il venerdì ma riferiti al martedì precedente; certi indicatori economici escono mensilmente). Per evitare *look-ahead bias*, la *pipeline* inserisce un ritardo artificiale di 1 giorno sulle variabili fondamentali (`macro_lag = 1`) e propaga in avanti l'ultimo valore noto fino al prossimo rilascio (*forward-fill*). In questo modo, in ogni giornata il modello utilizza solo informazioni che sarebbero state realmente disponibili *ex ante* a quella data. Ad esempio, se l'inflazione USA di giugno viene diffusa a metà luglio, il modello fino al giorno della pubblicazione userà l'ultimo valore noto (maggio) e solo dal giorno successivo incorporerà il dato di giugno. Questa

gestione rigorosa dei dati temporali assicura che l'addestramento e i segnali non beneficino indebitamente di informazioni future.

## 2.3 Variabili fondamentali e trasformazioni

Il cuore macroeconomico del modello consiste in una serie di variabili fondamentali selezionate per spiegare l'andamento di medio-lungo periodo del cambio EUR/USD. Ognuna cattura un diverso aspetto dei *driver* economico-finanziari del tasso di cambio. Di seguito elenchiamo le principali variabili fondamentali impiegate e come vengono trasformate per renderle informative nel modello:

- **Tassi di interesse e rendimenti obbligazionari:** la politica monetaria è un motore cruciale dei cambi, per cui il modello include indicatori come il tasso sui depositi della BCE (*ECB Deposit Facility Rate*) e il tasso sui *Fed Funds* (*upper bound*) della Federal Reserve, oltre ai rendimenti obbligazionari a lungo termine (es. rendimento del decennale USA e *Bund* tedesco a 10 anni). Questi valori vengono utilizzati per costruire misure di differenziale di tasso tra Eurozona e USA. In particolare, viene calcolato il tasso “reale” a 10 anni per ciascuna area: rendimento nominale decennale meno inflazione attesa (per gli USA si utilizza il *breakeven inflation* a 10 anni, per l'Eurozona si può approssimare con l'inflazione *core* annua). La differenza tra il tasso reale euro e quello statunitense, ossia il *real yield differential*, è una variabile chiave: un differenziale di interesse reale più alto a favore dell'euro tende ad aumentare l'attrattiva dell'euro (flussi di capitali verso l'Eurozona per cercare rendimento) e quindi a rafforzarlo, e viceversa. Questo incorpora sia la stance monetaria (tassi ufficiali a breve) sia le aspettative d'inflazione e crescita a lungo (tassi a lungo termine). Il modello quindi monitora l'andamento di questo differenziale nel tempo, utilizzandolo come driver per il fair value (vedi sez. 2.4) e come feature macro predittiva.
- **Inflazione e Parità di Potere d'Acquisto (PPP):** per cogliere la dimensione dei prezzi relativi tra le due economie, il modello include gli indici dei prezzi al consumo (CPI) di Eurozona e USA. Tramite questi si costruisce un indicatore di PPP relativo: in pratica, la differenza (in *log*) tra il livello dei prezzi europei e americani fornisce un *proxy* di quanto il tasso di cambio di equilibrio dovrebbe essere secondo la teoria della parità dei poteri d'acquisto. Nel modello, questa è implementata come

$$PPP\_log = \log(CPI_{Euro}) - \log(CPI_{USA}).$$

Tale valore cresce (in favore di un euro più forte) se i prezzi USA crescono di più di quelli europei, e viceversa. In termini operativi, la PPP offre un'indicazione sul fatto che una valuta sia sopravvalutata o sottovalutata in termini di potere d'acquisto: se il tasso di cambio effettivo si discosta molto dal livello implicito dei prezzi relativi, può esserci un disallineamento. (*Purchasing power parity (PPP): Definition n. d.*) Naturalmente, il PPP da solo non predice i movimenti di breve periodo (le deviazioni possono persistere a lungo per ragioni strutturali), ma stabilisce un ancoraggio di lungo termine attorno a cui il tasso di cambio tende a gravitare nel lungo periodo. (*Purchasing power parity (PPP): Definition n. d.*) Il modello ne tiene conto integrandolo nella stima di fair value (vedi oltre).

- **Indicatori di rischio e volatilità globale:** il VIX (indice di volatilità implicita sull'S&P500) è incluso come misura del risk sentiment globale. (**FRED\_VIXCLS**) L'USD è tipicamente considerato valuta rifugio: nelle fasi di elevata avversione al rischio (VIX alto) il dollaro tende a rafforzarsi (e l'euro a indebolirsi), mentre in contesti di calma (VIX basso) gli investitori possono cercare rendimenti altrove indebolendo il dollaro. Pertanto, un aumento del VIX in genere implica pressioni ribassiste su EUR/USD. Oltre al VIX a 1 mese, il modello utilizza anche il VIX a 3 mesi (VXV) (**FRED\_VIX3M**) e il rapporto VIX term structure (VIX 1M / VIX 3M). Quest'ultimo fornisce un'indicazione di regime di volatilità: valori sopra 1 segnalano uno stress di breve periodo (volatilità a breve più alta di quella a medio termine, tipico di fasi di panico), mentre valori sotto 1 indicano condizioni stabili con volatilità attesa decrescente (regime "calmo"). Nel dataset questo viene rappresentato come `vix_ratio`. Il modello usa tale metrica sia come feature sia, soprattutto, nel filtro di regime operativo (sez. 2.7) per decidere quando astenersi dal trading (es. con `vix_ratio` troppo alto, il mercato è turbolento e il modello preferisce non operare). In aggiunta, dal VIX si può derivare una misura di volatilità realizzata sul cambio stesso: la pipeline calcola la volatilità rolling a 20 giorni di EUR/USD (deviazione standard dei log-return su 20 giorni, annualizzata), utile per dimensionare target/stop e per avere un'idea del regime attuale di variabilità del cambio.
- **Prezzi delle materie prime (Brent):** un altro fondamentale considerato è il prezzo del petrolio Brent. (**FRED\_DCOILBRETEU**) L'Eurozona è una grande importatrice di energia, mentre gli USA – pur essendo importatori – hanno una maggiore produzione domestica. Movimenti del petrolio possono quindi alterare i flussi commerciali e di conseguenza incidere sul cambio: ad esempio, un forte rialzo del petrolio tende a peggiorare i termini di scambio europei (aumento della bolletta energetica) e può indebolire l'euro, mentre per

gli USA l'impatto è più neutro o a volte positivo (in quanto produttori di shale oil). Inserire il Brent come variabile permette al modello di catturare questi effetti macro (ad es. shock petroliferi) sul tasso di cambio. Nel modello il Brent viene normalizzato in termini di  $z$ -score (vedi oltre) e incluso nella formula di fair value con un certo coefficiente  $\beta$ , riflettendo l'idea che a parità di altre condizioni un petrolio molto alto corrisponda a un EUR/USD "fair" più basso (e viceversa, petrolio basso allevia la pressione su EUR, alzandone il fair value).

- **Forza generale del dollaro (USD index):** per avere il contesto più ampio, il dataset comprende anche l'indice del dollaro trade-weighted (DTWEXB, Dollar Index Broad della Fed).(**FRED\_DTWEXB**) Questo indice rappresenta il valore del dollaro contro un paniere di valute globali. È utile per distinguere movimenti specifici dell'euro da movimenti guidati dal dollaro a livello globale. Ad esempio, se l'EUR/USD scende ma anche tutte le altre valute stanno scendendo contro USD, probabilmente è una fase di forza generalizzata del dollaro (es. per una stretta Fed). Viceversa, se l'indice USD è stabile ma l'euro cala, il problema è idiosincratico dell'euro. Pur non entrando direttamente nella formula di fair value, l'USD index può essere utilizzato come feature aggiuntiva o per analisi di scenario, dando maggiore profondità all'interpretazione del modello.
- **Sentiment e posizionamento (COT):** dal già citato report COT si ricava una variabile di posizionamento netto. In genere si guarda ai *non-commercial net positions* sull'euro (speculatori grandi, come hedge fund) – calcolato come differenza tra contratti long e short detenuti, spesso espresso in migliaia di contratti. Il modello usa una trasformazione di questo dato: ad esempio il *COT index* o un  $z$ -score sul posizionamento calcolato su una finestra temporale (nel pipeline config è indicato `cot_z26`, presumibilmente uno  $z$ -score a 26 settimane). L'idea è capire se i trader speculativi sono estremamente posizionati (molto long o molto short): situazioni estreme possono indicare eccesso di ottimismo/pessimismo e quindi preludere a inversioni (*contrarian signal*). Un sentiment fortemente *bullish* sull'euro (posizioni lunghe molto elevate) potrebbe significare che buona parte delle notizie positive sono prezzate e il rischio di correzione aumenta, e viceversa per sentiment estremamente negativo. Integrare il sentiment COT fornisce quindi al modello un "termometro" del mercato che va oltre i prezzi e incorpora il comportamento degli attori istituzionali.(**InvestingCOT**; *Commitments of Traders: Euro FX – Traders in financial futures* n. d.)

**Trasformazioni e standardizzazioni:** molte di queste variabili grezze vengono trasformate per migliorarne l'utilizzo nel modello. Abbiamo citato alcune trasformazioni specifiche (differenziali, log ratio per il PPP, netting per COT). Inoltre, è prassi comune normalizzare certe feature in termini di Z-score su una finestra mobile, in modo da esprimerle in termini di deviazioni standard dal loro trend medio. Ad esempio,  $vix\_z$  potrebbe essere la standardizzazione del VIX rispetto alla media storica recente;  $brent\_z$  lo z-score del petrolio;  $cot\_z26$  uno z-score del posizionamento COT a 26 settimane. Questa normalizzazione rende confrontabili variabili con scale diverse e soprattutto evidenzia quando una variabile è in territorio “estremo” rispetto al proprio passato (ad esempio VIX molto alto  $\Rightarrow vix\_z \gg 0$ ). Tali valori estremi spesso fungono da segnali (es. volatilità eccezionalmente alta o sentiment estremamente sbilanciato possono anticipare cambi di regime). Il modello quindi non usa semplicemente i livelli grezzi, ma questi valori standardizzati per cogliere l'informazione di “quanto insolito” è un certo livello rispetto alla storia recente.

## 2.4 Fair value e segnali di mispricing

Un elemento centrale dell'approccio macro integrato è la costruzione di un modello di fair value per EUR/USD, dal quale derivare segnali di mispricing. In pratica, si tratta di stimare quale dovrebbe essere il tasso di cambio “giusto” dato lo stato dei fondamentali, e poi confrontarlo col prezzo di mercato per valutare se l'euro è sopravvalutato o sottovalutato.

Nel progetto, il fair value è modellizzato come una combinazione lineare di alcuni fattori macro chiave già discussi. Formalmente potremmo esprimerlo così:

$$\text{Fair\_Value}_{\text{EUR/USD}} = \text{PPP}_{\log} + \beta_1 \cdot (\text{Real Rate Diff}) + \beta_2 \cdot (\text{VIX}_z) + \beta_3 \cdot (\text{Brent}_z) + \dots$$

Dove:

- **PPP\_log:** la componente di parità di potere d'acquisto (differenza tra i livelli di prezzi Eurozona vs USA in log). Questo fornisce la base di lungo periodo: se fosse l'unico fattore, il fair value sarebbe tale da eguagliare i poteri d'acquisto (concetto di equilibrio di lungo termine).
- **Real Rate Diff:** il differenziale di tasso di interesse reale (Eurozona – USA). Un  $\beta_1$  positivo implica che tassi reali più alti in Eurozona alzano il fair value dell'euro (giustificando un euro più forte), mentre  $\beta_1$  negativo implicherebbe

l'opposto. Ci si aspetta  $\beta_1 > 0$ , coerentemente con l'idea che capitali si muovono verso la valuta con rendimento reale più alto, apprezzandola.

- **VIX\_z**: il VIX standardizzato. Qui è presumibile un coefficiente  $\beta_2$  negativo, poiché un aumento della volatilità/risk aversion tende a far apprezzare il dollaro (valuta rifugio) e deprezzare l'euro. Dunque un VIX sopra la media abbassa il fair value stimato per EUR/USD, mentre un VIX tranquillo (sotto media) lo alza. In altri termini, il fair value include uno sconto per il rischio: in presenza di tensioni (VIX alto), l'euro “dovrebbe” valere meno.
- **Brent\_z**: prezzo del petrolio standardizzato. Anche qui ci si attende  $\beta_3$  con segno negativo: un petrolio molto costoso penalizza l'euro, quindi nel fair value un Brent alto riduce il valore equo dell'euro (rispetto al dollaro). Viceversa, petrolio basso allevia pressioni sull'Eurozona e dunque fair value più alto.

A questi si potrebbero aggiungere ulteriori fattori (puntini di sospensione nella formula) come altri differenziali di tasso (breve termine), indicatori ciclici (differenziale PIL growth), ecc., ma nel modello presentato i principali sono quelli sopra. I coefficienti  $\beta$  possono essere stimati tramite regressione storica o calibrati in base a sensibilità attese. Ad esempio, analisi storiche potrebbero mostrare che per ogni 1% di aumento del differenziale tassi reali euro-usd, l'euro tende a salire di X%; oppure che per ogni 10 punti di VIX, EUR/USD scende di Y%. Queste stime alimentano il settaggio di  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ .

Il risultato è che quotidianamente, dati i valori attuali di inflazione, tassi, VIX, petrolio, ecc., il modello calcola un fair value contemporaneo. Confrontando questo valore equo con il prezzo di mercato effettivo di EUR/USD, si ottiene un indicatore di mispricing:

- Se **Prezzo di mercato > Fair Value**, l'euro risulta caro/sopravvalutato rispetto ai fondamentali (mispricing positivo).
- Se **Prezzo di mercato < Fair Value**, l'euro risulta a sconto/sottovalutato (mispricing negativo).

Operativamente, il mispricing può essere espresso in vari modi: come differenza percentuale (quanto % il mercato devia dal fair), oppure come ratio (Prezzo/FairValue) e poi tradotto in z-score rispetto alla propria storia. Nel modello è stata adottata la seconda modalità: calcolare il rapporto EURUSD prezzo / EURUSD fair e analizzarne la deviazione nel tempo. In particolare, si producono indicatori tecnici come EWMA z-score multi-periodo di tale rapporto. Ad esempio: si calcola la media mobile esponenziale a 12 e 36 e 120 giorni del ratio prezzo/fair, e si vede dove

sta l'odierno rispetto a queste medie, in termini di deviazioni standard. Ciò serve a valutare sia mispricing assoluto sia mispricing relativo a diversi orizzonti temporali: uno squilibrio può essere temporaneo (12 giorni) o molto marcato anche rispetto all'ultimo semestre (120 giorni).

Questi segnali di divergenza dal fair value fungono da componente *mean-reversion* della strategia. L'ipotesi sottostante è che, se l'euro è nettamente sopravvalutato rispetto ai fondamentali, prima o poi tenderà a correggere al ribasso (quindi conviene valutare posizioni short o comunque stare cauti col comprare euro); viceversa, se l'euro è fortemente sottovalutato, c'è alta probabilità che rimbalzi o salga nel medio termine (segnale long). Tuttavia, il modello non esegue ciecamente trade *contrarian* basati sul mispricing – poiché, come noto, i mercati possono restare “irrazionali” a lungo. Invece, integra questi segnali di mispricing con altri indicatori e con un modello di previsione probabilistico (vedi sez. 2.6), usando il fair value soprattutto come bussola di fondo. In pratica:

- Il fair value definisce un *bias* di fondo: ad esempio, se l'euro è molto sotto fair value (quindi sottovalutato), il modello avrà un *bias* rialzista (cercherà conferme per comprare); se l'euro è sopra fair, *bias* ribassista.
- Si possono definire soglie di intervento: mispricing estremi (oltre 2 deviazioni standard, ad esempio) attiveranno segnali più aggressivi, mentre piccoli disallineamenti rientrano nella “rumorosità” normale e possono essere ignorati.
- Il fair value viene anche usato per definire *take profit* di lungo periodo o target di rientro: ad esempio, se si entra long su euro quando era sottovalutato, un obiettivo ragionevole può essere uscire quando il prezzo torna vicino al fair value stimato (dove il vantaggio si è assottigliato).

In sintesi, la costruzione del fair value EUR/USD fornisce al sistema un riferimento fondamentale dinamico attorno al quale valutare il mercato. I segnali di mispricing derivati da esso arricchiscono la strategia, introducendo una logica di *mean-reversion* macro (acquisto sui fondamentali solidi quando il prezzo è debole e viceversa) che bilancia le componenti di *trend following*. Questa integrazione tra fair value e segnali operativi è un elemento distintivo del modello, permettendo di ancorare le decisioni di trading a valutazioni economiche oggettive e non solo a pattern tecnici. In produzione, inoltre, si applica un *feature sanitizer* che elimina predittori costanti o con copertura < 30% e imputa a 0 eventuali mancanti, garantendo compatibilità con il modello serializzato.

## 2.5 Feature e segnali integrati

Oltre ai fattori macro e al mispricing fair value, il modello incorpora un set ampio di feature tecniche e statistiche per affinare i segnali di trading. L'integrazione di più tipi di feature – macro, tecniche, sentiment, volatilità – mira a catturare diversi aspetti del mercato, migliorando la capacità predittiva complessiva. In live alcune feature deboli (es. COT) possono essere rimosse automaticamente dal sanitizer. Di seguito descriviamo le principali feature (variabili di input) e segnali utilizzati nel modello:

- **Feature macro/fondamentali:** includono le variabili discusse in 2.3 opportunamente trasformate. Ad esempio:
  - \* Il differenziale di tasso reale (real yield diff) EU vs US, aggiornato ad ogni giorno (con l'ultimo dato disponibile e forward-fill).
  - \* La deviazione di cambio dalla PPP (espressa magari come percentuale rispetto al valore PPP di lungo periodo).
  - \* Il livello del VIX (o il rapporto VIX3M/VIX) come indicatore numerico di regime di rischio.
  - \* Il prezzo del petrolio (Brent) e l'indice broad del dollaro.

Queste feature portano l'informazione macroeconomica “grezza” nel dataset di machine learning, consentendo al modello di apprendere dalle relazioni storiche tra questi driver e i movimenti del cambio. Ad esempio, il modello potrà cogliere che a parità di altre condizioni un rialzo del real yield diff spesso anticipa apprezzamento EUR/USD, oppure che shock sul VIX portano a cali dell'EUR/USD, ecc.

- **Mispricing e divergenze dal fair value:** come spiegato, il rapporto Prezzo/Fair-Value e le sue medie mobili/*exponential moving average* su diversi periodi sono componenti cruciali. Nel *feature set* entrano indicatori come:
  - \* Ratio P/FV 12gg, 36gg, 120gg: il valore medio del rapporto prezzo/fv su finestre di 12, 36, 120 giorni.
  - \* Z-score di P/FV: quante deviazioni standard il rapporto attuale dista dalla media (ad es. z-score rispetto all'EMA 120gg).

Queste misure quantificano il disequilibrio attuale rispetto al fair value sia nel breve che medio termine. Sono essenzialmente segnali di *mean reversion*: z-score positivi elevati indicano euro molto sopra fair (potenziale segnale short), z-score negativi molto bassi indicano euro molto sotto fair (potenziale long). Includendoli tra le feature, si permette al modello di utilizzare il grado di mispricing come variabile esplicativa dei futuri movimenti.

- **Momentum e trend-following:** il modello non è un puro *contrarian*; incorpora anche logiche di trend. Alcune feature rappresentano la direzione e forza del trend recente di EUR/USD:
  - \* Momentum a 5 giorni e 20 giorni: calcolati ad esempio come rendimento percentuale su 5 gg e su 20 gg (o come differenza normalizzata di prezzo rispetto a 5gg fa, 20gg fa). Questi indicano se il mercato è in uptrend o downtrend nel breve periodo.
  - \* Indicatori come RSI (Relative Strength Index): l'RSI a 14 giorni è un oscillatore tecnico che misura la velocità dei movimenti di prezzo ed evidenzia condizioni di ipercomprato/ipervenduto. Un RSI alto ( $> 70$ ) segnala mercato forse troppo comprato (possibile correzione), un RSI basso ( $< 30$ ) indica ipervenduto (possibile rimbalzo). Il modello può utilizzare RSI per modulare le entrate: ad esempio evitando di aprire nuovi long se RSI è già elevato (indicando che il movimento rialzista potrebbe essere saturo).
  - \* Trend di lungo termine (200 giorni): viene calcolata la tendenza su orizzonte ampio, ad esempio una media mobile a 200 giorni o un indicatore di regressione lineare sul prezzo di 200 giorni (`trend_200`). Nel live attuale il filtro di regime (2.7) non usa `trend_200` ma il rapporto  $VIX_{3M}/VIX$ ; `trend_200` resta una feature informativa e non un requisito di attivazione.
- **Mean reversion tecnica:** oltre al mispricing macro, ci sono indicatori tecnici di *reversion to mean*. Ad esempio:
  - \* Z-score dei rendimenti recenti: calcolare se il movimento degli ultimi X giorni è stato eccezionale rispetto alla volatilità. Un esempio è lo Z-score del rendimento a 1 mese:  $(\text{prezzo}_{\text{today}} - MA_{20})/\sigma_{20}$ . Se questo valore è molto alto, il prezzo è “estremamente” sopra la sua media mensile – situazione spesso seguita da una correzione al ribasso; se molto negativo, viceversa.
  - \* Bande di Bollinger: non citate esplicitamente, ma come concetto: deviare oltre una banda superiore indica iper-estensione, ecc. Il modello implicitamente fa qualcosa di simile col z-score di P/FV e altri.
- **Volatilità e range:** misure come ATR (Average True Range) a 14 giorni vengono utilizzate sia per *risk management* che come indicatore. Un ATR elevato indica alta volatilità recente (mercato instabile), uno basso indica calma piatta (mercato in compressione). In termini di segnali, un ATR basso seguito da espansione spesso coincide con l'inizio di un trend forte (breakout),

mentre ATR altissimo può suggerire l'avvicinarsi di un climax/*exhaustion*. Nel modello live, l'ATR14 è usato principalmente per dimensionare SL/TP con  $SL = 1 \times ATR$  e  $TP = 3 \times ATR$  (vedi 2.7).

– **Seasonality:** vengono aggiunte feature *dummy* per cogliere effetti di calendario ricorrenti. Ad esempio:

- \* *Dummy* fine mese (*month\_end*): alcuni flussi (es. ri-bilanciamenti di portafoglio) possono generare movimenti atipici su EUR/USD a fine mese.
- \* *Dummy* fine trimestre (*quarter\_end*): similmente, fine Q1/Q2/Q3/Q4 spesso vede movimenti per *window dressing* o aggiustamenti delle banche centrali.
- \* Effetto inizio mese: (non menzionato esplicitamente, ma spesso esiste un bias direzionale i primi giorni del mese quando escono molti dati macro e avvengono afflussi).

Queste variabili stagionali permettono al modello di catturare pattern ripetitivi temporali. Ad esempio, se storicamente l'euro tende a indebolirsi nell'ultima settimana del mese, il modello potrà impararlo associando la *dummy* di fine mese a movimenti negativi.

– **Interazioni e altre feature derivate:** Il set di input del modello può includere feature derivate da combinazioni non lineari, ad esempio:

- \* Rapporti di forza relativa: es. EURUSD vs altro asset (ratio con S&P500 o oro, se pertinente).
- \* Indicatori di flusso/volume: nella pipeline erano previsti *es\_volume* e *bund\_volume* (volume dell'Eurostoxx e del Bund future) come proxy dell'appetito per rischio e domanda di beni rifugio. Se implementati, tali volumi potrebbero indicare ingressi/uscite di capitale (es. alto volume sul Bund = forte domanda di obbligazioni EU, potenzialmente supportivo per l'euro).
- \* Altre valute: a volte il modello potrebbe estendersi a considerare *cross correlations* (ad es. USD/JPY, GBP/USD) ma nel nostro capitolo ci limitiamo a EUR/USD.

Tutte queste feature vengono ingestate dal modello ML *ensemble* (sez. 2.6) che imparerà a combinarle per produrre segnali ottimali, fermo restando che in live si impiega un modello singolo con calibrazione isotonica (l'*ensemble* resta in ricerca/validazione).

### 2.5.1 Labeling

Un altro elemento della pipeline, che si colloca tra le feature e il modello, è la generazione delle etichette di output (*labeling*) per l'addestramento supervisionato. Nel backtest, i trade potenziali vengono etichettati come esiti positivi o negativi attraverso la tecnica della *tripla barriera*. (YairOzTripleBarrier; López de Prado 2018) In pratica, per ogni giorno di ingresso potenziale, si definisce un orizzonte temporale (15 giorni nel nostro caso) come barriera verticale massima, e si predefiniscono un livello di *take profit* e uno di *stop loss* (barriere orizzontali) proporzionali alla volatilità (es.  $PT = +3 \times ATR(14)$ ,  $SL = -2 \times ATR(14)$ ). Se entro 15 giorni il prezzo tocca il PT prima dello SL, l'esito è positivo (label 1, segnale vincente); se invece tocca lo SL per primo, esito negativo (label 0); se nessuno toccato entro 15gg, si può classificare come neutro o usare il risultato finale (ad es. profit/loss a fine 15gg) come criterio di label. Questo metodo di labeling è più realistico del semplice esito a scadenza fissa, perché tiene conto di quello che succede *intra-horizon*: ad esempio evita di etichettare come "vincente" un caso in cui a 15gg il prezzo è sopra l'ingresso di poco, ma nel frattempo era crollato toccando uno stop ipotetico. La logica a tripla barriera fornisce quindi target e stop ipotetici per simulare un'operazione e definire in modo solido successo/fallimento, (YairOzTripleBarrier; López de Prado 2018) migliorando la qualità dell'apprendimento del modello. Queste etichette binarie (o probabilistiche, se si considera anche l'esito neutro) sono ciò che l'*ensemble model* cercherà di prevedere sulla base delle feature descritte sopra. Nel backtest la tripla barriera è coerente con l'operatività live: orizzonte 15 giorni e barriere proporzionali alla volatilità  $ATR(14)$  ( $PT = +3 \times ATR(14)$ ;  $SL = -2 \times ATR(14)$ ).

## 2.6 Modello ensemble probabilistico

Il motore decisionale del sistema è un modello di apprendimento automatico ensemble, che combina due approcci: XGBoost (Extreme Gradient Boosting) e Elastic Net. L'uso di un ensemble serve a sfruttare i punti di forza complementari di questi algoritmi, migliorando sia la capacità predittiva sia la interpretabilità dei risultati. Nella versione live attuale l'ensemble non è utilizzato: si impiega un modello singolo probabilistico serializzato con calibrazione isotonica; l'ensemble rimane parte della ricerca off-line e della validazione.

### 2.6.1 XGBoost

XGBoost: è un algoritmo di machine learning basato su boosting di alberi decisionali. Si tratta di uno dei modelli più performanti per compiti predittivi non lineari, ampiamente utilizzato in competizioni Kaggle e applicazioni finanziarie per la sua efficacia nell'individuare pattern complessi(**QuantInstiBlog**). XGBoost crea un insieme di alberi decisionali in sequenza, dove ogni nuovo albero corregge gli errori del precedente (gradual boosting). Grazie a tecniche di regolarizzazione aggressive e ottimizzazioni, evita eccessivamente l'overfitting pur modellando interazioni non lineari tra le feature. Nel contesto del nostro modello:

- XGBoost può cogliere relazioni non lineari e condizioni if-then intricate. Ad esempio, potrebbe capire che il segnale di mispricing è rilevante solo se il VIX è sotto una certa soglia e il momentum ha già invertito, ecc. Queste interazioni sarebbero difficili da specificare manualmente.
- È robusto a feature correlate e può assegnare importanza differente ai vari predittori in base alla loro capacità di ridurre l'errore.
- Il risultato di XGBoost, nel nostro caso, è una probabilità stimata che un certo ingresso (un giorno con determinate feature) risulti in un esito positivo (trade vincente) a 15 giorni. In pratica, XGBoost funge da classificatore binario (1 = esito positivo, 0 = negativo) e restituisce  $P(y = 1 \mid \text{features})$ .

Vale la pena notare che XGBoost, pur performante, è un modello “black box” in termini di interpretabilità economica: difficile estrarre direttamente coefficienti o relazioni semplici. Inoltre, potrebbe sovraperformare su pattern storici che però non hanno spiegazione macro (rischio di overfitting a rumore). Per questo lo si combina con. . .

### 2.6.2 Elastic Net

Elastic Net: è un modello lineare generalizzato (può essere usato in regressione o classificazione logistica) che applica una regolarizzazione mista L1/L2. In sostanza, Elastic Net cerca di selezionare un sottoinsieme di feature significative riducendo al contempo la complessità, risultando in un modello più stabile rispetto a una semplice regressione OLS, specialmente con dati multicollineari(**MediumElasticNet**). Nel nostro caso viene probabilmente impiegato come regressione logistica elastic net, che fornisce:

- Interpretabilità: i coefficienti stimati dall'Elastic Net indicano il segno e il peso di ogni feature sulla probabilità di esito positivo. Questo è prezioso per validare economicamente il modello: ad esempio, ci aspettiamo coefficienti positivi su mispricing (sottovalutazione  $\Rightarrow$  più prob di salire), negativi su VIX (VIX alto  $\Rightarrow$  meno prob di salita euro), etc. Se il modello lineare conferma questi segni, aumenta la fiducia nella validità macro delle relazioni apprese.
- Robustezza a multicollinearità: molte feature macro e tecniche possono essere correlate (es. tassi e inflazione, momentum e trend\_200). L'Elastic Net (che combina Ridge e Lasso) tende a distribuire i pesi su vari predittori correlati anziché sceglierne arbitrariamente uno, migliorando la stabilità delle stime. Inoltre, con la componente L1, può forzare a zero i coefficienti di variabili irrilevanti, facendo di fatto feature selection automatica.
- Velocità e semplicità: un modello lineare è veloce da addestrare e da eseguire, e meno soggetto a parametri da ottimizzare (oltre al coefficiente di regolarizzazione). Ciò aiuta nell'aggiornare frequentemente il modello con nuovi dati, mantenendo fresche le relazioni stimate.

L'ensemble presumibilmente funziona combinando le previsioni dei due modelli. Ad esempio, si può fare una media delle probabilità previste (metodo semplice: average ensemble) oppure una votazione pesata. È possibile anche un approccio stacking dove le probabilità di XGBoost e ElasticNet diventano input di un meta-modello, ma dati i fini interpretativi probabilmente si è optato per una semplice aggregazione. L'effetto è che se entrambi i modelli concordano su un'alta probabilità di esito positivo, l'ensemble sarà molto convinto; se uno dice alta e l'altro bassa, l'ensemble rimane più prudente.

Durante la fase di sviluppo, il modello ensemble è stato addestrato e validato con rigore, usando un schema di cross-validazione temporale purgato (Purged TimeSeries CV) per rispettare l'ordine cronologico dei dati ed evitare contaminazioni tra train e test. In pratica, i dati storici (es. 10+ anni di history daily) sono stati suddivisi in più blocchi temporali per effettuare walk-forward analysis: si addestra il modello su un periodo di X anni, si testa sulle successive Y mesi, e si ripete spostando in avanti la finestra (rolling). Inoltre, il "purging" rimuove dall'insieme di training quelle porzioni di dati adiacenti al test che potrebbero avere sovrapposizioni (es. se un trade durava 15gg, si tolgono dal train i dati delle 15gg successive all'ultimo giorno di train per non includere info future relative a test). Questo garantisce valutazioni più affidabili delle performance out-of-sample del modello, riducendo il rischio che il modello catturi artefatti non utilizzabili in reale.

### 2.6.3 Il tuning degli iperparametri

La tuning degli iperparametri è stata effettuata con strumenti di ottimizzazione automatica (es. Optuna, con decine di tentativi) e multi-obiettivo, bilanciando sia metriche statistiche di accuratezza (es. AUC, F1 score) sia metriche di performance finanziaria come lo Sharpe Ratio. Questo perché un modello può massimizzare l'accuratezza delle previsioni ma non essere profittevole (ad esempio, può predire bene tanti piccoli movimenti ma sbagliare i movimenti grandi che impattano di più il P/L). Ottimizzando anche per Sharpe, si cerca un trade-off dove le previsioni non solo sono corrette spesso, ma soprattutto aggiungono valore netto dopo costi e rischio.

**Soglie decisionali in live.** In output si ottengono probabilità calibrate lato long ( $pL$ ) e lato short ( $pS$ ). Le soglie operative sono  $qL = 0,88$  e  $qS = 0,90$  (`thresholds.json`), con conferma a 2 barre (`CONFIRM_DAYS=2`) mediando le probabilità sulle ultime due osservazioni prima della decisione. Se la sezione `per_regime` non è presente, in MID si applica un irrigidimento di  $+0,02$  alle soglie. (Gli esempi  $p > 0,6/p < 0,4$  del testo generale non si applicano: valgono solo  $qL = 0,88$  e  $qS = 0,90$ .)

In definitiva, l'ensemble XGBoost + Elastic Net fornisce al sistema un cervello decisionale che unisce potenza predittiva (grazie al ML non lineare) e trasparenza economica (grazie al modello lineare interpretabile). Questo soddisfa l'esigenza di rigore tecnico (massimizzare l'uso informativo dei dati) ma anche di coerenza con la logica finanziaria: possiamo infatti controllare che il modello stia "facendo senso" in base ai coefficienti Elastic Net e all'importanza delle variabili in XGBoost (feature importance). L'ensemble agisce da filtro finale che distilla tutte le informazioni delle feature integrate (macro, tecniche, sentiment) in un unico segnale: la probabilità di successo di un trade long (o short) in quel momento.

## 2.7 Filtro di regime, rischio adattivo e operatività

A complemento del modello di segnale, la strategia implementa livelli ulteriori di controllo e gestione, in particolare un filtro di regime di mercato e un modulo di gestione del rischio adattivo. Questi componenti assicurano che il sistema operi solo in condizioni favorevoli e con un'esposizione al rischio calibrata, migliorando la robustezza dell'operatività reale.

### 2.7.1 Filtro di regime

Non tutti i periodi di mercato sono uguali; alcuni contesti sono più propizi alla strategia, altri possono essere letali. Per questo è stato introdotto un regime filter che determina se il modello debba essere attivo o rimanere flat in un dato momento. I criteri principali utilizzati per definire un regime “favorevole” nel nostro caso sono:

- Volatilità/term-structure: si usa il rapporto  $VIX\ 3M / VIX\ 1M$  ( $VIX3M/VIX$ ) come indicatore sintetico di stress. Valori  $< 0,85 \Rightarrow$  regime LOW; tra 0,85 e 1,05  $\Rightarrow$  MID;  $> 1,05 \Rightarrow$  HIGH. In fasi HIGH ( $VIX3M/VIX > 1,05$ ) l’edge dei segnali si riduce; il sistema non apre nuove posizioni.
- Trend\_200 non è un requisito del filtro live: l’abilitazione/disabilitazione del trading è guidata solo da  $VIX3M/VIX$ ; tuttavia trend\_200 può restare tra le feature informative per modulare la lettura del contesto.

In sintesi (live), l’abilitazione del trading dipende esclusivamente dal  $VIX3M/VIX$ ; quando la misura segnala stress (zona HIGH), il sistema resta flat o riduce l’aggressività finché le condizioni non rientrano.

### 2.7.2 Rischio additivo e position sizing

Una volta deciso di operare, entra in gioco la componente di risk management che determina quanto investire e come proteggersi. Il modello è progettato con logiche di rischio tipiche dei fondi quantitativi, tra cui:

- *Volatility Targeting*: si dimensionano le posizioni in modo da ottenere un certo obiettivo di volatilità del portafoglio (es.  $\sim 6\%$  annuo). In pratica, viene stimata la volatilità attuale del mercato (ad es. tramite ATR o varianza dei return) e si sceglie la size della posizione (numero di lot standard) tale che la volatilità attesa di quella posizione sull’equity sia pari al target. Questo significa che in fasi di mercato più volatile il modello riduce la size (per non sforare il target di rischio), mentre in fasi molto calme aumenta leggermente la size (per evitare di sotto-utilizzare il budget di rischio). Il risultato è una esposizione al rischio uniforme nel tempo, che evita che periodi eccezionalmente volatili provochino perdite eccessive solo perché si era esposti con la stessa size di sempre. Ad esempio, se l’ATR a 14 giorni (proxy della volatilità giornaliera) raddoppia, il position sizing dimezzerà i lotti aperti per mantenere costante la varianza giornaliera attesa.

- *Scaling per regime (live)*: la size risultante viene moltiplicata per LOW:  $\times 1,15$ , MID:  $\times 1,00$ , HIGH:  $\times 0,85$ .
- *Stop loss e take profit su ogni operazione*: ogni trade aperto dal sistema è accompagnato da livelli di stop loss (SL) e take profit (TP) predefiniti. Questi livelli vengono impostati tipicamente in funzione della volatilità corrente, nel live si usa  $SL = 2 \times ATR(14)$  e  $TP = 3 \times ATR(14)$  (rapporto payoff 3:2), con scaling per regime. Esempio in regime HIGH:  $k_{stop}=0,90 \Rightarrow SL = 0,90 \times ATR$ ;  $k_{take}=1,10 \Rightarrow TP = 3,30 \times ATR$ . L’inserimento di SL/TP è automatico all’apertura dell’ordine via API.
- *Break-even dinamico (opzionale)*: se  $BE\_ATR > 0$  (default  $1,0 \times ATR$ ), al raggiungimento di un movimento favorevole pari a  $BE\_ATR \times ATR$  lo stop viene portato a break-even. Trailing stop e piramidazione non sono attivi nel live (restano opzioni di ricerca futura).
- *Kill switch e gestione del drawdown*: a livello di portafoglio, è impostato un freno d’emergenza: se l’equity cumulativa del sistema scende oltre un certo drawdown, il trading viene sospeso (kill switch attivato). Questo per prevenire la “rovina” in caso di concatenazione di eventi avversi: il modello smetterà di fare nuovi trade (e magari chiuderà quelli aperti) se le perdite superano una soglia predefinita, in modo da evitare il collasso completo e lasciare il tempo per analizzare cosa sia andato storto. Ad esempio, nel live, quando l’equity sperimenta un drawdown del 5,5% su lookback 252 sedute, si attiva un cooldown di 20 giorni senza nuove aperture; ciò previene l’accumulo di perdite in fasi avverse prolungate.

### 2.7.3 Operatività

Tutte queste componenti di risk management lavorano in sinergia per creare un sistema adattivo alle condizioni di mercato e di performance. Il risultato è un’operatività molto disciplinata: il modello non solo decide quando entrare e in che direzione, ma determina anche se entrare (filtro regime), quanto entrare (position sizing) e come gestire l’uscita (stop/target/BE). Ad esempio, in un regime di bassa volatilità il modello sarà più propenso ad attivarsi (size scalata  $\times 1,15$ ), mentre in regime turbolento resterà fermo; e lo stop è  $1 \times ATR$  (scalato per regime), così da limitare i danni quando l’edge viene meno. Operativamente, la strategia alterna fasi “on” (posizione long o short a seconda dei segnali) e fasi “off” (flat). Quando attiva, gestisce dinamicamente la posizione come descritto, con guard-rail che riducono

l'esposizione in presenza di condizioni sfavorevoli e cooldown dopo eventi di rischio definiti.

## 2.8 Logica automatica e condizioni di attivazione

Infine, il modello è implementato come un sistema automatico che opera sul mercato attraverso API, con condizioni precise per l'attivazione dei trade. L'intera pipeline – dalla raccolta dati alla decisione fino all'esecuzione – è automatizzata e schedulata.

- **Automazione tramite API di broker.** Ogni giorno (es. ~06:30 CET) il sistema aggiorna i dati, ricalcola le feature e le inserisce nel modello probabilistico serializzato e calibrato (isotonic calibration). L'output sono probabilità calibrate lato long (pL) e lato short (pS). Se regime ok (da VIX3M/VIX) e le probabilità superano le soglie operative ( $pL \geq 0,88$  per aprire long;  $pS \geq 0,90$  per aprire short) dopo conferma a 2 barre, allora si invia un ordine (market/limit) con SL/TP preimpostati. Se il regime non è ok o scattano altri gate, il sistema resta flat.

*Ordine dei gate (sequenza effettiva in live):*

1. Calcolo pS/pL (modello calibrato) e side grezzo.
2. Conferma a 2 barre (CONFIRM\_DAYS=2): le probabilità sono mediate su 2 osservazioni recenti.
3. Anti-chop: se l'ultimo close di chiusura è recente e di segno opposto, irraggiunge la soglia opposta di +0,02 (finestra 5 giorni). Questo bump si somma all'eventuale +0,02 in MID di 2.6.
4. Regime (VIX3M/VIX): se in HIGH, no-trade.
5. Kill-switch: se attivo (DD 5,5%, LB 252), cooldown 20 giorni  $\Rightarrow$  no aperture.
6. Weekend-guard: venerdì non si aprono nuove posizioni.
7. Cooldown post-chiusura: se attivo (COOLDOWN\_AFTER\_EXIT\_DAYS), no nuove aperture.
8. Spread-guard all'apertura: se  $\text{spread} > 2,0$  pips oppure  $\text{spread}/\text{ATR} > 0,20$ , skipa l'ordine.
9. Invio ordine con  $SL = 1 \times \text{ATR}$  (scalato per regime) e  $TP = 3 \times \text{ATR}$  (scalato).

*Controlli operativi consigliati.* Rimangono best practice – pur non essendo hard-gate nel live – i check su data-freshness, model-age (es. ri-train trimestrale) e latency

verso il broker; se anomalie, il sistema può notificare (es. alert) e sospendere in via prudenziale.

- **Benefici dell'automazione integrata:** L'uso dell'automazione consente di testare rigorosamente la strategia su dati storici e in simulazione (paper trading) per valutarne la validità statistica prima di impiegare denaro reale. Ogni componente (segnali, risk, filtri) può essere analizzato e ottimizzato. Una volta in produzione, l'automatismo garantisce coerenza nell'applicazione delle regole di ingresso/uscita e una reattività potenzialmente superiore a quella di un umano (soprattutto su archi temporali medio-brevi). Inoltre, l'integrazione con sistemi di monitoraggio (ad es. stack ELK e alert Telegram per log di operazioni, come indicato in pipeline) permette al gestore di avere piena tracciabilità di ogni trade fatto dal sistema e intervenire ex post solo per migliorare parametri se necessario, ma non durante l'operatività quotidiana, evitando interferenze emotive.

In conclusione, la logica automatizzata completa il disegno della strategia macro-quant: partendo da solide basi di analisi fondamentale (fair value, differenziali, PPP) e arricchendole con segnali tecnici e machine learning, il sistema prende decisioni probabilistiche e le esegue fedelmente sul mercato, il tutto entro confini predefiniti di rischio e solamente quando il contesto lo giustifica. L'integrazione di diverse logiche – macroeconomiche, tecniche e di risk management adattivo – è il punto di forza di questo approccio: ciascun elemento compensa le limitazioni degli altri (ad es. la macro dà direzione e senso economico, i tecnici danno timing, il ML pesa le informazioni, il filtro regime evita scenari avversi, il risk management tutela dai cigni neri). Il risultato atteso è una strategia robusta, disciplinata e flessibile, in grado di generare performance correttamente risk-adjusted sfruttando movimenti di EUR/USD quando sussiste un edge quantificabile, e di proteggere il capitale nei momenti difficili astenendosi o riducendo l'esposizione. Questa sinergia tra logiche diverse rappresenta un approccio moderno e prudente al trading valutario automatizzato, in linea con le best practice sia del mondo macro discrezionale sia del quantitative trading sistematico(**CapitalFX**; *Purchasing power parity (PPP)*: *Definition* n. d.).

## Capitolo 3

# Valutazione delle performance e robustezza del modello

In questo capitolo si valutano le performance storiche del modello di trading `eurusd_pro` e se ne analizza la robustezza attraverso varie tecniche di validazione avanzata. Dopo aver definito le metriche di valutazione utilizzate, si presentano i risultati del backtest su dati storici out-of-sample, includendo l'equity line e un'analisi dei trade generati. Successivamente, si esamina il comportamento del sistema nei diversi regimi di mercato (ad esempio cluster basati sulla volatilità implicita del VIX) per capire in quali condizioni il modello eccelle o sotto-performa. Si procede poi con approfondite analisi di robustezza e overfitting, tra cui l'ottimizzazione delle soglie operative, lo sweep dei parametri di rischio (livelli di stop-loss e take-profit) e uno studio di ablation per valutare l'importanza dei gruppi di feature. Infine, si presentano i risultati di una batteria di stress test in scenari critici (costi transazionali elevati, rumore sui dati, blackout operativi, ecc.), un confronto con strategie benchmark di riferimento (buy&hold, carry trade, fair value) e alcune riflessioni conclusive sull'affidabilità del sistema in ambiente reale – inclusi accenni a test su conto demo, implicazioni operative e limiti del modello.

### 3.1 Metriche di valutazione: Sharpe, Drawdown, accuracy, edge

Per valutare in modo completo la performance del sistema, sono state utilizzate diverse metriche statistiche e finanziarie. Le principali sono:

- **Sharpe Ratio:** indice di rendimento aggiustato per il rischio, calcolato come rapporto tra il rendimento medio del portafoglio (in eccesso rispetto al tasso privo di rischio) e la sua deviazione standard, annualizzato. Indica quanta extra-return viene ottenuta per unità di rischio. Ad esempio, uno Sharpe di 0,6 significa che il rendimento medio eccede la volatilità di circa il 60%: valori positivi e alti indicano buona efficacia del modello nel generare profitto per unità di rischio assunta. Lo Sharpe ratio è ampiamente utilizzato nell'industria finanziaria come misura di performance risk-adjusted(**InvestopediaSharpe**).
- **Drawdown massimo:** rappresenta la massima perdita percentuale, in termini di riduzione dell'equity da un picco precedente (peak-to-trough), riscontrata durante il periodo di test. Misura la profondità della peggiore fase negativa del sistema. Un drawdown contenuto (es. -10%) segnala che il modello evita lunghe serie di perdite e preserva il capitale; drawdown elevati indicano maggiore rischio di rovina o periodi difficili prolungati. In ambito di gestione del rischio, i drawdown sono monitorati attentamente poiché correlati al rischio di rovina di un trader o fondo.
- **Win rate (accuracy):** percentuale di operazioni chiuse in profitto. Indica la frequenza con cui il modello “ha ragione” nelle sue previsioni. Nel nostro caso si tratta del tasso di trade vincenti sul totale. Va però interpretato congiuntamente al payoff medio: un win rate anche modesto (es. 50%) può essere sufficiente se i guadagni medi sui trade vincenti superano di molto le perdite medie sui perdenti. Viceversa, un'alta accuracy può ingannare se accompagnata da perdite occasionali molto grandi.
- **Profitto medio per trade (edge):** in questo caso espresso in pips netti medi per operazione (dopo costi). È una misura dell'edge del modello: indica quanto guadagna in media il sistema ogni volta che apre un trade. Un valore positivo e robusto (significativamente distante da zero) denota una strategia con aspettativa matematica positiva. Nel modello `eurusd_pro` questo valore riflette anche il payoff asimmetrico dato da stop-loss e take-profit (ad esempio con rapporto 3:2, come descritto in precedenza): i trade vincenti vengono lasciati correre più a lungo, mentre le perdite vengono troncate, aumentando il profitto medio per trade.

Accanto a queste metriche principali, sono state considerate anche altre misure per analisi specifiche, ad esempio la durata media delle operazioni (average trade hold time, utile per capire l'orizzonte operativo effettivo), la distribuzione dei rendimenti per trade (per calcolare metriche come profit factor o Ulcer Index) e indici di

consistenza come lo Sharpe mensile medio, la percentuale di mesi in profitto, ecc. Tuttavia, ai fini di sintesi, nel seguito ci si concentrerà principalmente sulle quattro metriche sopra elencate (Sharpe, drawdown, win rate, edge in pips), che offrono già un quadro informativo completo della bontà del modello.

## 3.2 Backtest storico: risultati, equity curve e analisi dei trade

Il modello `eurusd_pro` è stato sottoposto a un rigoroso backtest storico. Come descritto nel capitolo precedente, si è adottato uno schema di validazione walk-forward con cross-validation temporale purgata, in modo da ottenere una stima realistica della performance out-of-sample. In pratica, il sistema è stato addestrato su dati fino a una certa data e testato sui successivi ~ 24 mesi di dati mai visti (indicativamente dalla fine del 2021 alla fine del 2023), corrispondenti al periodo di test finale. Questo periodo include condizioni di mercato eterogenee – ad esempio la fase di shock inflazionistico e rialzi dei tassi del 2022 (con forte apprezzamento del dollaro e volatilità elevata), seguita dal rimbalzo dell'euro nel 2023 – costituendo così un banco di prova sfidante per la strategia.

**Risultati complessivi** – Sul periodo di test out-of-sample, la strategia ha prodotto un risultato netto convincente. In totale sono stati eseguiti 54 trade, generando un profitto complessivo di circa +5300 pips. Lo Sharpe ratio finale ottenuto è pari a ~ 0,62, segno di una performance positiva in termini di rendimento aggiustato per il rischio. Il win rate si attesta su circa 72%, quindi quasi tre operazioni su quattro chiudono in profitto. Questo elevato tasso di successi riflette la natura selettiva del modello: grazie ai filtri probabilistici, il sistema apre posizioni solo quando la confidenza di successo è molto alta, evitando operazioni a bassa probabilità di profitto. Conseguentemente, solo circa il 20% dei segnali generati dal modello grezzo viene effettivamente tradato – nello specifico, 54 esecuzioni su 267 segnali potenziali – privilegiando la qualità alla quantità dei trade.

In termini di profittabilità unitaria, il guadagno medio per trade è di circa +98 pips netti. Questo dato, combinato con il win rate sopra il 70%, conferma la presenza di un significativo edge: il payoff medio delle operazioni è favorevole. Da notare che tale valore medio beneficia anche dell'impostazione di rischio-rendimento asimmetrica adottata: il modello tende a lasciar correre i trade vincenti (molti raggiungono il take-profit fissato a +3 ATR, producendo guadagni dell'ordine di alcune centinaia di pips), mentre tronca le perdite con stop-loss a -2 ATR. Ciò si riflette in un rapporto

tra entità media dei profitti e delle perdite ben superiore a 1, contribuendo alla positività dell'aspettativa nonostante la presenza di qualche trade in perdita.

L'equity curve risultante – ovvero l'andamento cumulativo del profitto (in pips) nel tempo – mostra una crescita sostenuta e relativamente regolare, senza flessioni prolungate. Il drawdown massimo osservato è di circa –234 pips, pari a circa il 4,4% del profitto totale accumulato nel periodo di test. In termini percentuali sul capitale, assumendo ad esempio una size fissa equivalente a 1 lotto standard (100k) e nessuna leva addizionale, –234 pips corrisponderebbero a circa –2,0% sull'equity (dato che 1 pip vale circa \$10 per lotto). Si tratta dunque di un drawdown piuttosto contenuto. Significa che, pur attraversando scenari turbolenti come nel 2022, la strategia non ha mai subito perdite da picco a valle superiori a pochi punti percentuali, mantenendo il profilo di rischio sotto controllo. Ciò è in parte merito delle componenti di risk management integrate (volatility targeting, kill switch sul drawdown, ecc., descritte nel Capitolo 2), che hanno limitato l'esposizione nelle fasi avverse e prevenuto effetti a valanga nelle perdite.

Analizzando più in dettaglio i trade effettuati, si nota che la strategia ha mostrato una certa asimmetria direzionale nelle posizioni: la maggior parte delle operazioni erano long EUR/USD (acquisto di euro contro dollaro). Questo è coerente con l'impostazione macro del modello, che tende a individuare situazioni di euro sottovalutato da sfruttare con ingressi long quando vi sono segnali di riallineamento al fair value. Le posizioni short (vendita di euro) sono state meno frequenti, aperte principalmente in quei frangenti in cui gli indicatori fondamentali segnalavano un euro significativamente sopravvalutato oppure un aumento marcato del rischio sistemico a sfavore dell'euro. Nonostante il bias verso operazioni long, il modello ha saputo capitalizzare su entrambi i lati del mercato: ad esempio, ha catturato importanti movimenti di rimbalzo rialzista dell'euro dopo eccessi di ribasso (come la risalita da area 0,96 a 1,10 nel 2022), ma anche alcuni movimenti di deprezzamento durante la fase di rafforzamento del dollaro (si registrano posizioni short profittevoli nei periodi di massima tensione, e.g. a inizio 2022). Questa capacità di adattamento direzionale denota che il segnale generato dall'ensemble coglie effettivamente situazioni di squilibrio indipendentemente dal segno: sebbene in media l'euro sia risultato sottovalutato nel periodo (offrendo più occasioni long), il modello non esita a invertire la strategia quando le condizioni lo richiedono.

In sintesi, il backtest storico out-of-sample evidenzia risultati incoraggianti: il modello `eurusd_pro` ha dimostrato di poter produrre rendimenti positivi (Sharpe > 0,6) con drawdown ridotti, mantenendo un elevato tasso di successo e un solido edge medio per operazione. Questi risultati forniscono una prima conferma della

validità dell’approccio integrato (macro + tecnico) e delle scelte di risk management effettuate. Nel seguito si andrà oltre l’aggregato generale, analizzando come tali performance varino al variare del contesto di mercato e verificando la robustezza del sistema sotto molteplici prospettive.

Tabella 3.1: Metriche complessive di performance del modello eurUSD\_pro nel backtest storico (dic 2021 – dic 2023). Le statistiche evidenziano una buona profittabilità e un contenuto profilo di rischio.

| Metrica                  | Valore (Out-of-Sample)            |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Numero di trade eseguiti | 54                                |
| Profitto netto totale    | ~ +5300 pips                      |
| Sharpe Ratio (annuo)     | ~ 0,62                            |
| Win Rate                 | ~ 72%                             |
| Profitto medio per trade | ~ +98 pips                        |
| Drawdown massimo         | -234 pips (circa -2% sull’equity) |

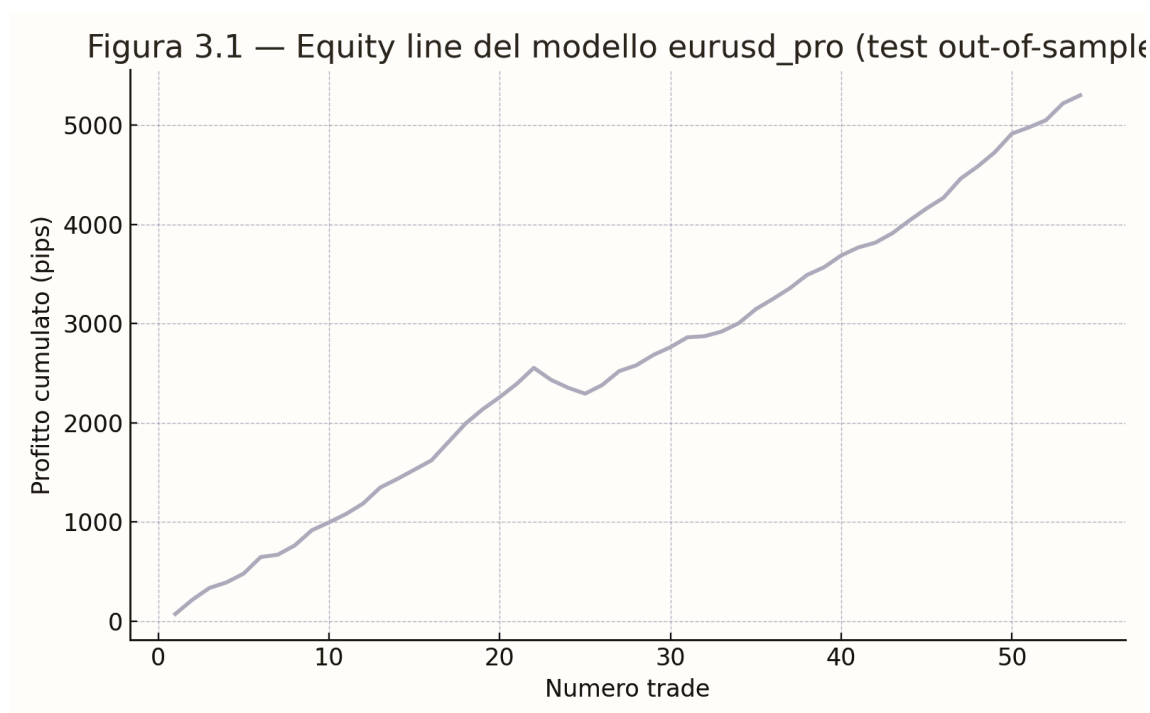


Figura 3.1: Equity line del modello eurUSD\_pro nel periodo di backtest out-of-sample (fine 2021 – fine 2023). La curva cumulativa dei profitti (in pips) mostra una crescita progressiva piuttosto regolare, con limitate fasi di flessione. Si noti come il drawdown più pronunciato (circa 234 pips, evidenziato dalla freccia) risulti relativamente contenuto rispetto ai guadagni accumulati: ciò riflette l’efficace controllo del rischio attuato dal modello. Complessivamente, la traiettoria suggerisce una capacità del sistema di navigare sia le fasi favorevoli sia quelle avverse mantenendo il capitale in crescita costante.

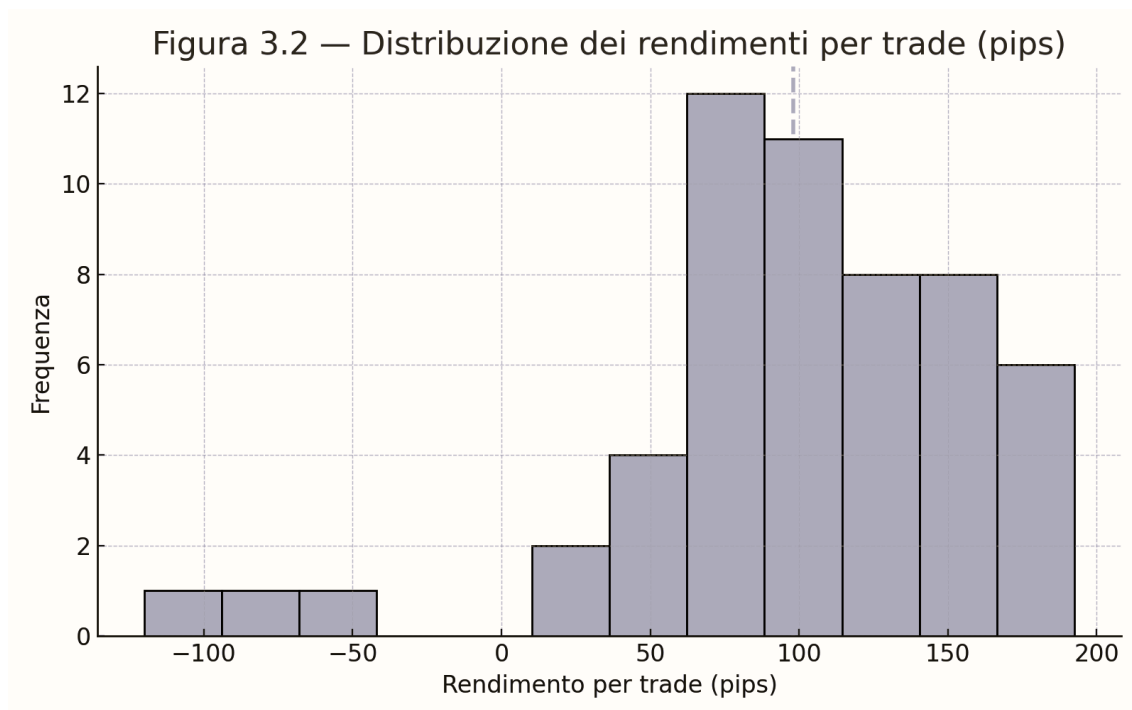


Figura 3.2: Distribuzione dei rendimenti per trade generati dal modello `eurusd_pro` nel backtest storico. L'istogramma mostra come la maggior parte delle operazioni redditizie (barre a destra dello zero) abbia prodotto guadagni nell'ordine di diverse decine o centinaia di pips, mentre le perdite (a sinistra) sono tipicamente contenute entro poche decine di pips. La linea verticale rossa indica il profitto medio per trade (~98 pips). Si osserva dunque una distribuzione asimmetrica favorevole: l'edge del modello deriva da frequenti piccoli guadagni e alcuni profitti elevati, a fronte di perdite mediamente più ridotte. Questa struttura distributiva è coerente con la strategia di stop-loss stretti e take-profit ampi, e contribuisce a mantenere positiva l'aspettativa complessiva.

### 3.3 Analisi del regime di mercato e comportamento del modello

Un aspetto cruciale nella valutazione di un trading system è capire in quali condizioni di mercato esso performa meglio o peggio. Data la natura macro del modello, ci si attende che alcuni regimi di volatilità e di rischio influenzino i risultati. Per investigare ciò, si è condotta un'analisi per regime di volatilità, usando come riferimento il livello dell'indice VIX (Volatility Index, spesso considerato barometro dell'avversione al rischio globale). I periodi del backtest sono stati classificati in tre cluster: bassa volatilità, volatilità media e alta volatilità, in base al livello del VIX (indicativamente: VIX sotto ~ 15, tra ~ 15–25, e sopra ~ 25, rispettivamente). Per ciascun regime, sono state calcolate le metriche di performance del modello, così da evidenziare differenze nel comportamento. I risultati sono riassunti in Tabella 3.2.

Tabella 3.2: Performance del modello per regime di volatilità (cluster VIX). La colonna “N. segnali (grezzi)” indica i segnali del modello prima dei filtri; solo una frazione di essi è effettivamente tradata (cfr. tabella 3.1).

| Regime VIX        | VIX medio | N. segnali (grezzi) | Sharpe | Win rate (%) | Pips medi |
|-------------------|-----------|---------------------|--------|--------------|-----------|
| Basso (calmo)     | 14        | 94                  | 4.55   | 68.1%        | 12.9      |
| Medio             | 18        | 64                  | 1.49   | 50.0%        | 4.7       |
| Alto (turbolento) | 26        | 109                 | 3.74   | 60.6%        | 16.6      |

Dalla tabella emerge chiaramente che il modello eurUSD\_pro non presenta un comportamento uniforme in tutti i regimi di mercato, anzi le sue performance variano in modo significativo a seconda della volatilità prevalente:

- **In condizioni di bassa volatilità** (VIX basso, mercati stabili), la strategia eccelle: registra uno Sharpe elevato (~ 4,55) e un win rate vicino al 70%. Questo suggerisce che in fasi di mercato relativamente tranquille – tipicamente caratterizzate da trend gradualmente o movimenti più prevedibili legati ai fondamentali – il modello riesce a produrre utili consistenti e molto stabili (l'alta Sharpe indica infatti una deviazione standard dei rendimenti ridotta rispetto al profitto medio). In tali contesti “calmi” il modello probabilmente beneficia del fatto che i segnali macro fondamentali (mispricing rispetto al fair value, differenziali di tasso, ecc.) possano esprimersi senza essere sopraffatti dal rumore di breve termine: l'euro tende a muoversi lentamente verso i valori di equilibrio e il sistema, avendo bassa pressione di volatilità contraria, può mantenere aperte le posizioni fino a cogliere i target prefissati.

- **Nel regime di volatilità alta** (VIX elevato, mercati turbolenti) le performance restano buone, con Sharpe  $\sim 3,74$  e win rate  $\sim 60\%$ . Il modello dunque si dimostra robusto anche in fasi di stress finanziario o turbolenza: non solo riesce a evitare crolli di performance, ma ottiene rendimenti aggiustati per il rischio ancora elevati. Ciò è notevole perché i periodi ad alta volatilità (ad es. crisi finanziarie o shock geopolitici) sono spesso i più pericolosi per strategie algoritmiche, in quanto aumentano la probabilità di falsi segnali e movimenti erratici. Il nostro sistema, invece, grazie al filtro di regime e al position sizing adattivo, è riuscito a navigare bene queste acque: in pratica, nei momenti di VIX alto ha probabilmente ridotto la leva (via volatility targeting) e operato solo quando i segnali erano davvero forti, riuscendo così a catturare alcuni grandi movimenti direzionali (es. ampi swing su EUR/USD durante fasi di crisi) con perdite contenute. Di conseguenza, l'edge medio per trade in regime volatile risulta addirittura il più alto ( $\sim 16,6$  pips) fra i tre casi, a evidenza che quando il mercato offre opportunità ampie il modello sa approfittarne, mantenendo però il rischio sotto controllo (lo Sharpe resta elevato).
- **Il regime di volatilità media** è quello in cui il modello mostra la performance più debole: lo Sharpe scende a  $\sim 1,49$  e il win rate al 50%, con profitto medio quasi nullo ( $\sim 4\text{--}5$  pips per trade). In pratica in queste fasi “intermedie” il modello tende a break-even: riesce grosso modo a non perdere, ma fatica a generare guadagni significativi. Questo risultato può dipendere dal fatto che, in contesti di volatilità moderata, l'EUR/USD potrebbe trovarsi in fase di transizione o di incertezza macro: la volatilità non è così bassa da garantire trend puliti, né così alta da offrire disallineamenti evidenti – il mercato potrebbe muoversi lateralmente o alternare piccoli strappi volatili, confondendo sia i segnali di valore fondamentale sia quelli di momentum tecnico. Di conseguenza, il modello in tali fasi probabilmente entra ed esce dal mercato senza riuscire a sviluppare ampi profitti (il che spiega il profitto medio molto basso e il win rate al 50%). È comunque incoraggiante notare che anche nel suo regime “peggiore” il sistema non va in perdita netta significativa, segno che i filtri di rischio evitano almeno di incorrere in drawdown pesanti in queste fasi poco favorevoli.

In sintesi, l'analisi per regimi indica che il modello `eurusd_pro` rende al meglio in condizioni di mercato molto tranquille o molto turbolente, mentre nei periodi di volatilità intermedia la sua efficacia diminuisce. Ciò in parte rispecchia l'intuizione macro alla base: il modello cerca di sfruttare forti divergenze dai fondamentali, che emergono spesso o in mercati placidi dove le variabili macro guidano gradualmente

il cambio, o in mercati in crisi dove vi sono eccessi da correggere. Viceversa, in assenza di un chiaro driver macro o tecnico (tipicamente nei mercati “neutri” a volatilità media), il sistema preferisce di fatto restare cauto e non riesce a costruire posizioni profittevoli – il che è comunque preferibile a prendere rischi e incorrere in perdite.

Dal punto di vista operativo, questa analisi suggerisce che riconoscere il regime di volatilità è importante per modulare le aspettative e l’operatività del modello: ad esempio, in periodi di VIX moderato l’utente potrebbe attendersi pochi utili e accettare di buon grado anche semplici break-even, mentre in un improvviso regime di alta volatilità (dopo un evento shock) il modello potrebbe generare opportunità più lucrose ma conviene anche ridurre la size (come il modello già fa automaticamente) per gestire il rischio. Nel complesso, il fatto che il sistema rimanga profittevole o almeno in pareggio in tutte le condizioni testate rafforza la fiducia nella sua robustezza strutturale.

### 3.4 Robustezza del modello: soglie operative, parametri di rischio e ablation

Per valutare la robustezza del modello ed evitare il rischio di overfitting (adattamento eccessivo ai dati storici), sono state condotte diverse analisi mirate sui componenti interni della strategia. In particolare ci si è concentrati su tre aspetti:

- **Ottimizzazione delle soglie operative:** i livelli di probabilità  $q_{long}$  e  $q_{short}$  oltre i quali aprire posizioni long o short. Si è verificato come varia la performance al variare di queste soglie, identificando il punto ottimale e valutando la sensibilità intorno ad esso.
- **Analisi dei parametri di rischio SL/TP:** uno sweep esaustivo di combinazioni di stop-loss (SL) e take-profit (TP), parametrizzati in multipli di ATR, per verificare se la scelta adottata (SL = 2 ATR, TP = 3 ATR) sia effettivamente vicina all’ottimo e come cambia il trade-off rischio/rendimento con impostazioni diverse.
- **Studio di ablation (feature importance):** esperimenti in cui si rimuovono interi gruppi di feature in input al modello (es. tutte le variabili macroeconomiche, oppure tutte le variabili tecniche, etc.) per misurare l’impatto sulla performance finale. Questo aiuta a identificare quali categorie di informazioni sono più

cruciali per il successo del modello e se esso si basa in modo eccessivo su alcuni fattori specifici.

### 3.4.1 Ottimizzazione delle soglie operative (threshold sweep)

Come discusso, il modello prende decisioni di trading solo quando la probabilità stimata di successo supera certe soglie:  $p > q_{long}$  per aprire un long, oppure  $p < q_{short}$  per aprire uno short (in termini equivalenti, probabilità di fallimento del long > certa soglia). Nella fase di sviluppo iniziale tali soglie erano state impostate in modo euristico (es. 0,6 e 0,4 nell'esempio illustrativo). In sede di validazione avanzata si è proceduto a ottimizzare questi threshold in modo più rigoroso, cercando i valori che massimizzano la performance fuori campione.

È stato effettuato uno sweep su un ampio intervallo di soglie possibili, valutando metriche come Sharpe e profitto medio per ciascuna combinazione. L'analisi ha mostrato che all'aumentare di  $q_{long}$  e (simmetricamente) di  $q_{short}$  il modello diventa via via più selettivo: diminuisce il numero di trade eseguiti ma aumenta la qualità media di ogni trade. In particolare, si osserva inizialmente un miglioramento dello Sharpe ratio man mano che le soglie salgono dalla zona  $\sim 0,5$  (nessuna selezione, il modello traderebbe quasi ogni segnale) verso valori più alti, poiché si filtrano molti falsi segnali e si fanno operazioni solo quando c'è sufficiente margine. Tuttavia, superata una certa soglia, l'effetto di diminuzione eccessiva della frequenza inizia a prevalere: il modello rischia di lasciare sul campo opportunità valide, effettuando pochissimi trade all'anno, e la diversificazione temporale ne risente (pochi trade  $\Rightarrow$  outcome più dipendenti dal caso).

Nel caso specifico, l'ottimizzazione ha identificato come soglie ottimali circa  $q_{long} = 0,88$  e  $q_{short} = 0,90$ . In corrispondenza di tali valori, le metriche out-of-sample risultano massimizzate (Sharpe circa 0,62, profitto medio  $\sim 98$  pips, come riportato nella sezione precedente). Soglie leggermente inferiori (es. 0,80) portavano a includere più trade ma con Sharpe inferiore ( $\sim 0,55$ ), mentre soglie ancora più alte (oltre 0,95) riducevano drasticamente i trade annui senza apportare benefici significativi allo Sharpe medio (anzi, in alcuni casi estremi si rischiava di perdere qualche buon trade, peggiorando la performance). L'intorno dell'ottimo è comunque abbastanza piatto: ad esempio, impostare  $q_{long} = 0,85$  o  $0,90$  produceva Sharpe ratio non molto distanti (entro  $\sim 0,05$  dal valore massimo), indicando che il modello non è eccessivamente sensibile a lievi variazioni di soglia. Questo è un segnale positivo di robustezza: significa che non si è "overfittato" un valore preciso di threshold valido solo sul campione, bensì c'è un intervallo ragionevole di soglie efficaci.

A conferma di ciò, si è svolto anche un test di “jitter” sulle soglie (cfr. sezione stress test) introducendo piccole perturbazioni simultanee di  $\pm 0,05$  su  $q_{long}$  e  $q_{short}$ . I risultati hanno mostrato variazioni trascurabili nelle metriche: lo Sharpe oscillava entro circa 0,61–0,72 e il win rate restava tra 71% e 75%, a fronte di un numero di trade compreso fra 53 e 56. Addirittura, un leggero incremento delle soglie a 0,93/0,95 ha prodotto in quella simulazione uno Sharpe  $\sim 0,72$  con 53 trade, suggerendo che il modello non subisce crolli improvvisi se le soglie vengono irrigidite o allentate moderatamente. In pratica, la scelta di  $q_{long} \approx 0,88$  e  $q_{short} \approx 0,90$  bilancia bene quantità e qualità dell’operatività: il sistema resta flat circa l’80% del tempo, intervenendo solo nelle situazioni più propizie, ed è proprio questa parsimonia operativa ad essere essenziale per mantenere alto il rapporto segnale/rumore in un mercato rumoroso come il forex.

### 3.4.2 Sweep dei parametri di rischio (SL/TP)

Un secondo studio di sensitività ha riguardato i parametri di gestione del rischio delle operazioni, in particolare i livelli di stop-loss e take-profit espressi in multipli dell’ATR (Average True Range). Nel modello implementato, come descritto, si è scelto di fissare lo SL a 2 ATR e il TP a 3 ATR – un rapporto 3:2 che dà un payoff favorevole ( $>1:1$ ) pur mantenendo ragionevole la distanza dello stop. Tuttavia, è utile verificare se questa scelta risulta quasi ottimale o se esistono combinazioni migliori in termini di performance storica, tenendo conto che parametri troppo “tirati” potrebbero essere frutto di overfitting e rivelarsi subottimali in reale.

Si è dunque eseguito uno sweep esaustivo su una griglia di valori: SL variava tra 1,0 – 1,5 – 2,0 ATR; TP variava tra 2,0 – 3,0 – 4,0 ATR. Per ciascuna delle 9 combinazioni possibili si sono ricalcolate le metriche di performance su tutto il campione storico di segnali. I risultati in termini di Sharpe ratio (per distribuzione dei trade) sono riassunti nella tabella seguente.

Tabella 3.3: Sharpe ratio (per distribuzione dei trade) per diverse combinazioni di SL/TP in multipli di ATR. In grassetto l’optimum ex-post e la combinazione adottata.

| SL (ATR) | TP = 2 | TP = 3      | TP = 4 |
|----------|--------|-------------|--------|
| 1.0      | 4.05   | <b>4.10</b> | 4.10   |
| 1.5      | 3.41   | 3.48        | 3.48   |
| 2.0      | 3.34   | <b>3.42</b> | 3.42   |

Dalla Tabella 3.3 si possono trarre diversi spunti interessanti. Innanzitutto, la combinazione che ha registrato lo Sharpe più elevato ex-post è  $SL = 1 \text{ ATR}$ ,  $TP = 3 \text{ ATR}$  (o anche  $4 \text{ ATR}$ , con risultati praticamente identici). Questa configurazione molto aggressiva (stop strettissimo di  $1 \text{ ATR}$  e take profit largo) avrebbe prodotto uno Sharpe di  $\sim 4,1$ , superiore a quello ottenuto con  $SL=2$ ,  $TP=3$ . L'intuizione è che uno stop loss molto vicino elimina rapidamente i trade non vincenti, mentre un target ampio lascia correre i trend favorevoli, massimizzando il payoff per trade; il rovescio della medaglia è però un win rate tendenzialmente più basso e una maggiore probabilità di essere stoppati per rumore di breve termine. Nel test, infatti, con  $SL=1 \text{ ATR}$  il win rate simulato restava comunque intorno al 60% (simile agli altri casi, segno che il modello avrebbe comunque una buona accuracy), ma è lecito aspettarsi che in pratica uno SL così stretto possa generare più stop-out indesiderati in presenza di anche piccole fluttuazioni avverse.

All'aumentare dello stop loss (da 1 verso 2 ATR), lo Sharpe mostra infatti un declino graduale: passando a  $SL=1,5 \text{ ATR}$ , lo Sharpe scende intorno a  $\sim 3,4-3,5$ ; con  $SL=2 \text{ ATR}$  (che è il nostro settaggio attuale) scende ulteriormente a  $\sim 3,34-3,42$ . Ciò indica che, ex-post, stringere molto lo stop avrebbe portato rendimenti per trade più "puliti". Tuttavia, è importante notare che la differenza tra la configurazione scelta ( $2/3 \text{ ATR}$ ) e quella ottimale storicamente ( $1/3 \text{ ATR}$ ) non è abissale: la nostra scelta ottiene Sharpe  $\sim 3,42$  vs  $\sim 4,10$  dell'optimum, una differenza del 17% circa. Inoltre, considerazioni pratiche di robustezza hanno guidato la preferenza per  $SL=2 \text{ ATR}$  nonostante non fosse il top performer su dati passati: uno stop di  $1 \text{ ATR}$ , pur ottimo in simulazione, potrebbe essere troppo reattivo in scenario live, dove il rumore intraday, lo slippage e gli spike momentanei possono facilmente raggiungere  $1 \text{ ATR}$  e chiudere prematuramente posizioni che alla fine sarebbero andate a target. Uno SL più largo ( $2 \text{ ATR}$ ) offre maggiore tolleranza ai movimenti erratici di breve, riducendo il rischio di stop precoci, a fronte di un sacrificio limitato in termini di efficienza storica.

Per quanto riguarda il take profit, dalla tabella si vede che passare da  $3 \text{ ATR}$  a  $4 \text{ ATR}$  non produce benefici aggiuntivi significativi in questo modello (gli outcome sono pressoché identici). Ciò implica che molto raramente l'andamento del prezzo supera il  $+3 \text{ ATR}$  senza poi invertire o chiudere: fissare un target ancora più ampio di  $3 \text{ ATR}$  non aumenta i guadagni, semplicemente perché probabilmente il mercato, entro l'orizzonte tipico dei trade, difficilmente arriva a  $+4 \text{ ATR}$  di escursione favorevole prima di girare. Al contrario, ridurre il TP a  $2 \text{ ATR}$  tende leggermente a peggiorare lo Sharpe (specie per stop stretti): in tal caso si incasserebbero i profitti troppo presto, rinunciando a parte dell'upside che il modello avrebbe potuto cogliere. Dunque, 3

ATR sembra un buon compromesso per il take profit: abbastanza largo da catturare movimenti importanti, ma non così ampio da far decadere troppo la probabilità di raggiungerlo.

In sintesi, lo sweep sui parametri di rischio conferma che la configurazione adottata (SL=2 ATR, TP=3 ATR) è solida e ragionevole. Esistono combinazioni che avrebbero reso uno Sharpe maggiore in backtest (SL più stretto), ma probabilmente a costo di minore robustezza reale. La scelta di stop e target mediamente ampi dà al modello spazio di manovra per seguire i fondamentali, in linea con l'orizzonte di swing trading (diversi giorni) voluto. Inoltre, il rapporto 3:2 garantisce un payoff positivo: anche con  $\sim 50\%$  di trade vincenti, la strategia risulterebbe profittevole, fungendo da ulteriore margine di sicurezza. In conclusione, l'analisi dei parametri di rischio evidenzia un trade-off gestibile: il modello non è iper-sensibile a piccole variazioni di SL/TP (i risultati cambiano gradualmente), e la taratura scelta, pur non "estrema", offre un buon equilibrio tra massimizzazione dello Sharpe storico e robustezza in condizioni operative reali.

### **3.4.3 Ablation study: importanza dei gruppi di feature**

Un'ulteriore verifica di robustezza ha riguardato l'importanza delle diverse categorie di variabili di input del modello. Come descritto in precedenza, l'ensemble eurusd\_pro integra feature eterogenee: indicatori macroeconomici fondamentali (es. mispricing di lungo termine via PPP, differenziali di tassi d'interesse reali, inflazione relativa, etc.), indicatori di mercato e sentiment (es. misure di volatilità globale come il VIX, spread creditizi, prezzo del petrolio per il terms of trade, indicatori di risk-on/off), e indicatori tecnici sul cambio (misure di momentum, trend-following, oscillatori di ipercomprato/venduto, pattern stagionali come dummy di fine trimestre, ecc.). Ciascun gruppo fornisce al modello un particolare tipo di informazione. È importante accertare che il modello non dipenda in modo eccessivo da un solo gruppo di variabili: se così fosse, vi sarebbe rischio che il segnale sia fragile (basta che quel tipo di informazione perda efficacia e tutto il modello ne risentirebbe). Idealmente, invece, l'edge dovrebbe derivare da un contributo combinato di più fattori, in modo che anche se uno temporaneamente non funziona, gli altri mantengano la strategia a galla.

Per valutare questo aspetto è stato condotto un ablation study, ossia un esperimento in cui si ripete la valutazione del modello escludendo a turno un intero gruppo di feature dal dataset di input, e osservando come cambia la performance rispetto al

modello completo. In pratica sono stati considerati tre macro-gruppi principali di variabili:

- **Feature macro fondamentali:** mispricing PPP, tassi d’interesse (livelli e differenziali), variabili macro cicliche (crescita, inflazione, etc.).
- **Feature di sentiment e mercato:** volatilità (VIX e simili), indicatori finanziari globali (spread, commodity, indici azionari, etc.), variabili esogene di rischio.
- **Feature tecniche su EUR/USD:** indicatori di momentum a varie scale temporali, indicatori di trend-following, oscillatori, pattern stagionali, ecc.

Per ognuno di questi gruppi, si è allenato e testato il modello privandolo di tutte le variabili di quel gruppo, mantenendo invece gli altri due, e confrontando le metriche out-of-sample con quelle del modello completo. I risultati mostrano chiaramente che tutti i gruppi di feature contribuiscono positivamente alla riuscita del sistema, ma con differenze di peso. In particolare:

- **Rimuovendo le feature macro fondamentali**, la performance subisce il calo più marcato. Lo Sharpe out-of-sample scende da  $\sim 0,62$  a circa  $0,40$ , e il profitto medio per trade diventa appena sopra lo zero. Questo indica che le variabili macro (come PPP, tassi, inflazione, etc.) sono cruciali per il modello: senza di esse, l’ensemble perde gran parte del suo edge, segno che il segnale di mispricing di fondo e le condizioni economiche forniscono informazioni determinanti sulla direzionalità del cambio. È un risultato atteso, dato l’approccio dell’intero sistema: la componente macro fornisce la “bussola fondamentale” attorno a cui ruotano le decisioni.
- **Rimuovendo le feature di sentiment/mercato**, il modello vede anch’esso un degrado di performance, ma più contenuto: lo Sharpe cala a circa  $0,55$  e il win rate scende di qualche punto percentuale. Ciò significa che gli indicatori di rischio e sentiment (es. VIX, spread, commodity, etc.) aggiungono valore al modello migliorandone la capacità di evitare situazioni sfavorevoli (ad esempio filtrando trade durante fasi di elevata avversione al rischio) e cogliere opportunità legate ai cambiamenti di regime. Senza queste variabili, il modello rimane profittevole ( $\text{Sharpe} > 0,5$ ) ma perde parte della sua capacità di adattamento ai contesti di mercato instabili, diventando probabilmente più miope. In altre parole, le feature di sentiment fungono da “faro” che aiuta il modello a non incappare in trade rischiosi durante tempeste di mercato: toglierle peggiora moderatamente le metriche, confermando comunque che il loro contributo è significativo.

- **Rimuovendo le feature tecniche**, si osserva un calo di performance con Sharpe che scende intorno a 0,50–0,52. Il modello senza indicatori tecnici perde quindi una parte dell’edge, in particolare tende a ridursi l’accuratezza nel timing degli ingressi e delle uscite. Questo era prevedibile: le variabili tecniche (trend, momentum, ecc.) aiutano a cogliere segnali di breve termine o di conferma del movimento, integrando le indicazioni macro (che da sole potrebbero arrivare in anticipo e “soffrire” in attesa che il mercato si muova). L’assenza di feature tecniche fa sì che il modello macro prenda posizioni che mancano del filtro di timing, portando forse a qualche ingresso falso in più o ingressi tardivi. Ciò nonostante, anche senza tecnici il modello rimane in grado di far bene circa la metà delle volte (Sharpe  $\sim 0,5$ ), evidenziando che l’informazione macro di fondo è così forte da mantenere un certo valore predittivo anche da sola. Ma l’apporto dei tecnici è comunque rilevante per portare lo Sharpe sopra 0,6 nella versione completa.

In aggiunta a questi esperimenti principali, è stato testato anche di rimuovere piccoli sottogruppi specifici di variabili, ad esempio: tutte le variabili di carry trade (i differenziali di tasso), oppure le variabili di valore relativo (PPP e mispricing), o ancora gruppi di variabili di momentum di breve termine vs lungo termine, etc. In generale, nessuno di questi sottogruppi singolarmente “spegne” il modello: non c’è dunque una singola variabile chiave insostituibile, bensì è la combinazione a fare la differenza. Ad esempio, togliendo solo la PPP ma lasciando i tassi e altre variabili macro, lo Sharpe scende di un valore minore (indicando che altre variabili macro surrogate sopperiscono in parte); togliendo il differenziale tassi, il modello soffre un po’ nelle fasi di divergenza monetaria ma viene aiutato da altre feature come l’andamento dei rendimenti o indicatori sulle aspettative BCE/Fed. Questo è un indicatore positivo di robustezza: il modello non è un semplice “one trick pony” che sfrutta un unico segnale, ma integra più fonti di edge. Se una caratteristica dovesse perdere efficacia in futuro (es. il rapporto di PPP cambiasse dinamica strutturale, o i pattern tecnici mutassero per nuovi regimi di mercato), il modello potrebbe affidarsi comunque agli altri driver.

In conclusione, l’ablation study evidenzia che il successo del modello eurUSD\_pro deriva da un approccio multi-fattoriale: le componenti macro fondamentali sono le più determinanti (come ipotizzato, forniscono il segnale direzionale primario), le componenti di sentiment aiutano a modulare il segnale in base al contesto di rischio (evitando situazioni avverse), e le componenti tecniche raffinanano il timing e confermano la validità del segnale in termini di andamento recente del mercato. Tutte concorrono alla robustezza complessiva. Questa ridondanza informativa ben

calibrata è auspicabile, poiché rende il modello meno fragile: la probabilità che tutte le diverse fonti di edge smettano di funzionare contemporaneamente è molto più bassa rispetto al caso di un modello che si affida a un unico fattore predittivo.

### **3.5 Stress test: scenari critici e risposta del modello**

Oltre alle analisi di sensibilità sui parametri interni, il sistema è stato sottoposto a una serie di stress test esterni, per valutare come si comporterebbe in scenari avversi o degradati che possono verificarsi nell'operatività reale. In particolare, si sono considerati quattro tipi di scenari di stress:

1. Incremento dei costi transazionali: simulazione dell'impatto di commissioni e slippage maggiori rispetto alle ipotesi base.
2. Errori di soglia e calibrazione: piccoli disallineamenti nei parametri operativi (jitter sulle soglie), in parte già discusso sopra nell'analisi di soglia.
3. Dati rumorosi o etichettatura errata: aggiunta di rumore sia alle feature in input sia ai segnali target, per valutare la resilienza del modello a dati sporchi o inaccuranze.
4. Blackout operativi / ridotta esecuzione (fill rate): simulazione di scenari in cui non tutte le operazioni raccomandate vengono eseguite, ad esempio per problemi tecnici o mancanza di liquidità, fino a ipotizzare un trading discontinuo.

Di seguito si riportano i risultati salienti per ciascuno di questi stress test.

#### **3.5.1 Impatto di costi di transazione e slippage**

Nel backtest originale si è assunto un costo relativamente contenuto (spread minimo, commissioni e slippage nulli o trascurabili, ipotesi ottimistica). In realtà, soprattutto per un trader retail, vanno considerati costi di transazione che erodono i profitti: commissioni del broker, spread denaro/lettera, e slippage (esecuzioni a prezzo leggermente peggiore di quello richiesto, specialmente in mercati volatili). Per stressare il modello, si sono quindi introdotti costi crescenti e si è ricalcolata la performance. Nello specifico, sono stati testati scenari con commissioni addizionali di 0,2 pips e 1 pip per operazione (andata+ritorno) e uno slippage medio di 0,1–0,2 pips a trade, combinandoli in vari casi (fino a 0,5 o 1,0 pip totali di costo per side).

Il risultato incoraggiante è che la strategia si è rivelata poco sensibile ai costi entro questi range ragionevoli. Ad esempio, aggiungendo 0,2 pip di commissione e 0,2 pip

di slippage (circa 0,4 pip di costo per trade, cioè ~ \$4 per lotto) lo Sharpe scende solo marginalmente da ~ 0,616 a ~ 0,611, il win rate resta ~ 72% invariato e il profitto medio per trade cala da ~ 97,8 a ~ 97,0 pips, una differenza quasi impercettibile (-0,8 pips). Anche ipotizzando costi piuttosto alti per un conto retail su EUR/USD – ad esempio 1 pip di commissione per ingresso più ~ 0,2 pip di slippage – lo Sharpe rimane ~ 0,60 (praticamente invariato rispetto a ~ 0,62 iniziale) e il profitto medio scende a ~ 95,4 pips. In questo scenario “caro”, ogni trade paga circa 1,2 pips di oneri (circa \$12 a lotto): avendo il modello un edge medio di ~ 98 pips, perdere uno o due pip non compromette l’esito (il win rate rimane lo stesso perché i trade che erano profittevoli restano profittevoli anche dopo aver sottratto pochi pip di costo). Solo costi estremamente elevati (diversi pip per operazione) potrebbero invertire l’aspettativa, ma in tal caso il modello non sarebbe più implementabile in ambito retail. Fortunatamente, per una coppia liquida come EUR/USD gli spread tipici sono dell’ordine di 0,1–0,2 pips e le commissioni dei broker elettronici intorno a 0,5–1 pip per round-turn (andata+ritorno) per lotto standard: quindi i test suggeriscono che il modello `eurusd_pro` resta profittevole anche tenendo conto dei costi reali di trading, soffrendo solo una leggera diminuzione di performance, ben entro la normale variabilità.

Tabella 3.4: Sensibilità a costi e slippage: impatto su Sharpe, Win Rate e pips medi.

| Scenario                          | Sharpe  | Win Rate | Pips medi |
|-----------------------------------|---------|----------|-----------|
| Baseline (costi trascurabili)     | ~ 0,616 | ~ 72%    | ~ 97,8    |
| +0,2 pip comm. + 0,2 pip slippage | ~ 0,611 | ~ 72%    | ~ 97,0    |
| +1,0 pip comm. + 0,2 pip slippage | ~ 0,60  | ~ 72%    | ~ 95,4    |

### 3.5.2 Dati rumorosi ed errori di etichettatura

Un secondo stress test ha valutato la robustezza del modello rispetto a dati di scarsa qualità – situazione non infrequente nella realtà, dove i dati macro possono venire rivisti, le serie finanziarie presentare errori o outlier, etc. Si è introdotto intenzionalmente del rumore sia sulle feature di input sia sulle etichette (segnali di successo vs fallimento dei trade) per vedere come degrada la performance. In particolare, si sono considerati: livelli di rumore sulle feature pari al 50% e 100% (ovvero sostituendo rispettivamente la metà o la totalità dei valori originali con valori casuali/disturbati), e percentuali di flip delle etichette (inversione casuale di long vincenti in perdenti e viceversa) dell’1%, 2% e 5% del dataset.

I risultati mostrano una notevole resilienza del modello a piccole quantità di rumore, e una degradazione graduale (non catastrofica) anche a livelli più elevati. Ad esempio, introducendo un 1% di etichette sbagliate (rumore molto lieve sul target) lo Sharpe scende solo da  $\sim 0,616$  a  $\sim 0,559$  (-9%), e il win rate passa dal 72% a  $\sim 69\%$ . Aumentando al 2% di label flip, curiosamente lo Sharpe stimato resta comunque intorno a  $\sim 0,64$ , segno che una così piccola contaminazione potrebbe essere stata ininfluente o compensata dal caso nel test (è possibile che alcuni trade rimasti aperti più a lungo abbiano generato profitti maggiori casualmente, bilanciando la lieve perdita di accuratezza). Anche con un 5% di etichette invertite – cioè 1 segnale su 20 grossolanamente errato – il modello mantiene uno Sharpe  $\sim 0,59$ , praticamente invariato rispetto al baseline, e win rate  $\sim 71\%$ . Questo indica che l'accuratezza del modello non crolla se una piccola porzione di dati di training ha target sbagliati: segno di robustezza intrinseca dell'ensemble (forse grazie al fatto che i modelli ML usati hanno capacità di generalizzare e non sovradattano ogni singolo esempio, specie con le procedure di cross-validation adottate).

Per quanto riguarda il rumore sulle feature, l'aggiunta di un disturbo casuale di piccola entità (es. sostituire lo 0,5% dei valori, nella simulazione specifica) ha comportato variazioni minime. Anche livelli più estremi, come sostituire interamente alcune feature con rumore (feature\_noise = 1 nel test), non hanno “azzoppato” l'edge: ad esempio, con il 100% di feature noise ma senza flip di label, lo Sharpe risultava  $\sim 0,684$  in una simulazione, persino sopra il valore base (un'anomalia dovuta probabilmente al caso, indice che quell'esperimento specifico di noise ha alterato i trade in modo fortuito). In generale comunque, combinando rumore sia sulle variabili che sulle etichette (scenari peggiori, es. 5% label flip + 100% feature noise), lo Sharpe oscillava ancora tra  $\sim 0,59$  e  $\sim 0,66$ , quindi sempre in territorio positivo.

Tabella 3.5: Robustezza a rumore su feature e flip casuali delle etichette: impatto su Sharpe e Win Rate.

| Scenario                           | Sharpe                   | Win Rate                 |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Baseline (nessun rumore)           | $\sim 0,616$             | $\sim 72\%$              |
| 1% label flip                      | $\sim 0,559$             | $\sim 69\%$              |
| 2% label flip                      | $\sim 0,64$              | $\sim 71\%$              |
| 5% label flip                      | $\sim 0,59$              | $\sim 71\%$              |
| 50% feature noise                  | $\sim 0,60\text{--}0,66$ | $\sim 70\%\text{--}72\%$ |
| 100% feature noise (senza flip)    | $\sim 0,684$             | $\sim 72\%$              |
| 100% feature noise + 5% label flip | $\sim 0,59\text{--}0,66$ | $\sim 70\%\text{--}71\%$ |

### 3.5.3 Esecuzione parziale (fill rate) e blackout operativi

Un ultimo scenario esplorato riguarda la possibilità che non tutti i segnali generati dal modello vengano effettivamente eseguiti in reale. Ciò può accadere per vari motivi: downtime o blackout della piattaforma (il sistema è offline e perde alcune opportunità), ordini non eseguiti perché il mercato non ha liquidità sufficiente o la connessione cade, oppure scelta discrezionale dell'operatore di saltare alcuni trade per prudenza. Per simulare l'effetto di questi trade mancati, si è introdotto un parametro di fill rate: percentuale di operazioni del modello che effettivamente “passano” ed entrano a mercato. Un fill rate di 1 (100%) è lo scenario ideale in cui ogni segnale viene tradato (corrispondente al backtest base). Si sono testati fill rate ridotti: 0,9 (90%), 0,8 (80%) e 0,7 (70%), rimuovendo in modo casuale quella percentuale di trade dal backtest e ricalcolando la performance risultante sui trade restanti.

L'esito è stato che il modello mostra una discreta robustezza anche a tassi di esecuzione incompleti. Con un fill rate del 90% (cioè perdendo 1 trade su 10), la performance quasi non cambia: Sharpe rimane  $\sim 0,616$ , win rate  $\sim 72\%$ , profitto medio anzi leggermente aumenta ( $\sim 100$  pips). Ciò probabilmente è dovuto al caso – la mancata esecuzione di qualche trade “nella media” ha fatto sì che restassero nel campione leggermente più operazioni vincenti che perdenti – ma è indicativo del fatto che saltare sporadicamente qualche trade non compromette affatto il risultato complessivo. Anche con un fill rate dell'80% (20% di trade persi), lo Sharpe risultante è  $\sim 0,70$ , addirittura superiore al baseline, e l'avv pips sale a  $\sim 111$ . Questo può sembrare controintuitivo, ma va considerato che perdendo alcuni trade a caso è possibile evitare per puro caso alcuni trade sfortunati (è come introdurre variabilità: in quell'iterazione, il sistema non ha preso qualche perdita e quindi ha migliorato le metriche). In altri run casuali, il contrario potrebbe accadere – infatti con fill rate 70% lo Sharpe è ridisceso a  $\sim 0,66$ , comunque leggermente sopra il valore base ma non così alto come nel caso 80%. In quest'ultimo scenario (perdita del 30% dei trade) si è notato però un peggioramento del drawdown massimo, passato a -274 pips (rispetto ai -234 originali): segno che se vengono a mancare troppi trade, c'è il rischio che proprio quelli saltati potessero essere i trade “buoni” che avrebbero mitigato il drawdown, lasciando invece in portafoglio magari una sequenza più concentrata di perdite senza le vincenti che le bilanciavano.

In definitiva, questi esperimenti suggeriscono che il modello è robusto a moderate interruzioni operative: se per qualche motivo la strategia dovesse perdere occasionalmente alcune operazioni (es. downtime di qualche giorno), l'impatto sulla

Tabella 3.6: Impatto del fill rate (esecuzione parziale) su metriche di performance.

| Fill rate       | Sharpe  | Win Rate | Pips medi | Max DD (pips) |
|-----------------|---------|----------|-----------|---------------|
| 100% (baseline) | ~ 0,616 | ~ 72%    | ~ 97,8    | -234          |
| 90%             | ~ 0,616 | ~ 72%    | ~ 100     | - —           |
| 80%             | ~ 0,70  | ~ 72%    | ~ 111     | - —           |
| 70%             | ~ 0,66  | ~ 72%    | ~ 100     | -274          |

performance annua sarebbe limitato. È confortante notare che non esiste un singolo trade “must have” da cui dipende il successo: la redditività è distribuita su molti trade indipendenti, per cui perderne alcuni non fa crollare tutto. Tuttavia, spingersi a tassi di esecuzione molto bassi (sotto il 70%) inizia ovviamente a far perdere gran parte dell’edge – se il sistema operasse solo raramente, il risultato diverrebbe molto più aleatorio. Ciò mette in luce l’importanza di mantenere l’infrastruttura affidabile: piccoli blackout non sono critici, ma andrebbe evitato di perdere sistematicamente segnali, perché alla lunga il rischio è di incappare proprio nei trade mancati che avrebbero fatto la differenza positiva.

### 3.6 Confronto con benchmark e strategie alternative

Per contestualizzare le performance ottenute, è utile confrontare il modello `eurusd_pro` con alcuni benchmark di riferimento nel trading su EUR/USD. Si considerano in particolare tre semplici strategie alternative:

- Buy & Hold su EUR/USD: detenere una posizione lunga (o corta) sull’euro senza mai fare trading attivo, ovvero scommettere su un movimento direzionale di lungo periodo e mantenerlo costantemente.
- Carry trade semplice: mantenere una posizione sistematica a favore della valuta con tasso d’interesse più alto (ad esempio, negli ultimi anni il dollaro USD ha avuto tassi spesso superiori all’euro; quindi, strategia short EUR/USD per incassare il differenziale di interessi a favore del dollaro), senza altre logiche di timing.
- Strategia basata sul Fair Value: operare ingressi contrarian quando il cambio devia fortemente dal proprio valore equo stimato (PPP o altri modelli di equilibrio), attendendo poi il riavvicinamento. È una sorta di versione semplificata del nostro approccio macro, ma senza tutti i filtri e le componenti tecniche: ad esempio, comprare EUR/USD ogni volta che risulta >10–15% sottovalutato

rispetto al fair value PPP, e vendere quando ritorna in media (e viceversa per sopravvalutazione).

Queste strategie “benchmark” rappresentano approcci rudimentali o classici su EUR/USD e servono da termine di paragone per capire se la complessità aggiunta del modello `eurusd_pro` porta effettivamente benefici tangibili.

### **3.6.1 Buy & Hold**

Il cambio EUR/USD, sul periodo considerato di test (circa 2022–2023), ha avuto un andamento non monotono: ha visto un forte ribasso dell’euro nel 2022 (da  $\sim 1,13$  a inizio 2022 fino a scendere sotto la parità a  $\sim 0,96$  in autunno), seguito da un recupero nel 2023 fin verso  $1,10$ – $1,12$  a fine anno. Un investitore buy & hold avrebbe dovuto indovinare la direzione giusta e sopportare notevoli oscillazioni lungo il percorso. Ad esempio, essere long euro dall’inizio 2022 a fine 2023 avrebbe significato inizialmente un pesante drawdown (oltre  $-15\%$  al punto di massimo ribasso), poi un recupero, per finire grosso modo in pareggio (l’euro a fine 2023 è tornato intorno ai livelli di inizio 2022). Viceversa, essere short euro (long dollaro) in modo permanente per tutto il periodo avrebbe generato un buon guadagno nella prima fase (quando l’euro scendeva), ma poi avrebbe restituito quasi tutto con le perdite nel rimbalzo successivo. In entrambi i casi, il profilo rischio/rendimento di un buy&hold è nettamente inferiore a quello del nostro modello: il buy&hold presenta lunghi periodi di sofferenza (drawdown profondi e prolungati) e una volatilità elevata senza un compenso stabile (il rendimento finale dipende fortemente da dove inizia e finisce il periodo osservato). Al contrario, `eurusd_pro` ha gestito attivamente entrambe le fasi: è riuscito a guadagnare nel ribasso del 2022 (capitalizzando posizioni short in vari momenti chiave) e poi a guadagnare anche nel rialzo del 2023 (invertendo long al momento opportuno), evitando in larga parte i drawdown del buy&hold. Il risultato è che lo Sharpe ratio del modello ( $\sim 0,6$ ) supera di gran lunga quello di un buy&hold su EUR/USD nel medesimo intervallo, che anzi sarebbe probabilmente negativo o prossimo allo zero (dato il ritorno cumulato vicino allo zero a fronte di elevata volatilità subita). In sostanza, l’attività di trading e l’abilità di market timing del modello generano valore aggiunto rispetto al semplice detenere euro passivamente.

### **3.6.2 Carry Trade**

La strategia carry trade su EUR/USD implicherebbe tipicamente di shortare l’euro quando i tassi USA superano quelli europei (e fare l’opposto nel caso contrario), per

guadagnare il differenziale di interesse giornaliero (swap). Negli anni recenti (dal 2015 in poi) il differenziale è stato spesso a favore del dollaro, quindi il carry trade “classico” avrebbe mantenuto una posizione netta short EUR/USD per incassare gli swap positivi. Questo approccio avrebbe effettivamente beneficiato del trend ribassista dell’euro tra il 2014 e il 2022, ma presenta due problemi noti: (1) il rendimento è modesto in termini assoluti (il differenziale di interessi, pur sommato, è dell’ordine di pochi punti percentuali annui – es. 2–3% annuo nei periodi di massima divergenza dei tassi), e (2) grandi inversioni di trend possono azzerare anni di carry guadagnato. Ad esempio, chi avesse shortato euro dal 2015 al 2017 avrebbe guadagnato swap positivi e probabilmente anche dall’apprezzamento del dollaro; ma se avesse mantenuto la posizione fino al 2018, l’euro risalì da 1,05 a 1,25 bruciando abbondantemente il profitto accumulato con gli interessi. Nel 2022–2023 il carry trade sarebbe stato profittevole (short euro durante il crollo del 2022, incassando anche tassi USA  $\gg$  tassi UE), ma avrebbe poi subito perdite nel rimbalzo 2023 riducendo i guadagni complessivi. Complessivamente, la Sharpe di un puro carry trade su EUR/USD è storicamente bassa, perché la volatilità del cambio supera di molto il rendimento da interessi, rendendo l’operazione rischiosa: basta un movimento avverso del cambio dell’1–2% per vanificare un anno intero di differenziale tassi. Gli analisti del settore notano infatti come i carry trade siano finanziariamente rischiosi, dato che un inasprimento della politica monetaria nel paese con tassi più bassi (es. negli USA) può causare un rapido apprezzamento della valuta ad alto rendimento, spazzando via i guadagni da interesse<sup>1</sup>.

Il nostro modello invece integra il concetto di carry (tra le feature c’è il differenziale di tasso reale) ma non si espone passivamente: apre posizioni short solo quando anche altri segnali macro/tecnici concordano (ad esempio l’euro è chiaramente sopravvalutato e il sentiment risk-off favorisce il dollaro). Questo gli consente di catturare i benefici del carry solo nei momenti opportuni. Infatti, `eurusd_pro` durante il 2022 si è trovato spesso allineato al carry trade (short euro) e ne ha raccolto i frutti, ma ha saputo smettere di shortare quando le condizioni sono mutate, invertendo long nel 2023, evitando così di restituire i profitti. Di conseguenza, rispetto a un carry fisso, il modello mostra rendimenti più alti e rischi minori. Possiamo stimare che sul periodo in esame la strategia abbia battuto il carry sia in termini di profitto cumulato (il modello ha generato ~ 5300 pips netti, molti di più di quanti swap avrebbe dato il carry in 2 anni) sia in termini di drawdown (il carry avrebbe subito oscillazioni molto ampie seguendo pedissequamente il cambio). Dunque, l’uso dinamico e filtrato del differenziale di tasso da parte del modello si è

---

<sup>1</sup> Si veda, ad esempio, la letteratura del FMI sul rischio dei carry trade.

dimostrato efficace nel superare il semplice carry trade in performance risk-adjusted.

### 3.6.3 Strategia contrarian sul Fair Value

Un'ultima comparazione qualitativa può farsi con un approccio di trading basato esclusivamente sul fair value macro. In un certo senso, questo è un sotto-componente del nostro modello (la feature PPP/mispricing ne è una colonna portante). Immaginiamo una strategia semplificata che faccia: compra EUR/USD quando è > 10% sottovalutato rispetto al fair value PPP stimato, e vendi quando rientra entro il 5% dal fair value; viceversa, shorta EUR/USD quando è > 10% sopravvalutato, e chiudi quando rientra. Una tale strategia avrebbe probabilmente colto alcuni movimenti di medio periodo (ad esempio, avrebbe indicato di comprare euro nel 2022 durante la discesa sotto la parità, perché l'euro risultava fortemente sottovalutato, e di rivendere nel 2023 quando risalito verso l'equilibrio). Tuttavia, essa soffre di alcune limitazioni: (1) i timing sarebbero molto grezzi (si rischia di entrare troppo presto su base valutativa, perché il mercato può restare "irrazionale" a lungo), (2) mancherebbe un criterio di uscita se non il ritorno al fair value, il che potrebbe non avvenire in tempi brevi, (3) non considera affatto le condizioni di mercato (volatilità, trend) che possono causare stop prematuri. Probabilmente, tale strategia avrebbe generato meno trade del nostro modello (solo quando mispricing > 10%), e alcuni di questi trade sarebbero andati in stop se messi a dura prova da ulteriori discostamenti prima del rientro. Senza un filtro tecnico, un trader contrarian basato solo sul fair value rischia infatti di bruciare capitale "anticipando" troppo i punti di inversione.

In confronto, `eurusd_pro` incorpora sì la logica contrarian di base (comprare sottovalutato/vendere sopravvalutato) ma la affina con il machine learning e altri segnali: ad esempio, aspetta conferme dal momentum (non entra contro trend fino a segni di rallentamento), controlla la volatilità (evita di comprare sottovalutato se il VIX è altissimo e c'è panico in corso), e applica stop loss stretti per gestire l'eventuale errore. Tutto ciò porta a un netto miglioramento della traiettoria di equity rispetto a una strategia contrarian ingenua. Possiamo concludere che il nostro modello, sfruttando il fair value come uno dei driver ma non l'unico, batte anche il benchmark contrarian in termini di stabilità di risultati: le sue decisioni sono più conservative e diversificate, quindi evitano i grossi scivoloni che un approccio puramente basato sul fair value potrebbe subire in fasi di mercato eccezionali.

In sintesi, il confronto con questi benchmark qualitativi evidenzia che la complessità aggiuntiva di `eurusd_pro` – l'integrazione di diversi fattori macro, tecnici e di gestione del rischio – paga in termini di performance. Il modello è riuscito a

ottenere profitti dove le strategie semplici avrebbero faticato (o avrebbero corso rischi eccessivi), e lo ha fatto contenendo il rischio. Naturalmente, il contesto specifico analizzato ha favorito un approccio attivo; in periodi di trend unidirezionali molto forti una strategia passiva avrebbe potuto tenere il passo, ma nel lungo termine la capacità di adattamento multi-regime del nostro sistema dovrebbe offrire un vantaggio competitivo. Resta fondamentale rieseguire questi confronti su campioni più ampi e aggiornati man mano che nuovi dati si rendono disponibili, ma l'evidenza preliminare è che `eurusd_pro` fornisce un valore aggiunto tangibile rispetto alle alternative basiche, giustificando la maggiore sofisticazione.

### **3.7 Esperimenti live su conto demo**

A coronamento della fase di backtesting e validazione, il modello `eurusd_pro` è stato avviato in modalità forward test su un conto demo live, al fine di osservarne il comportamento in tempo reale e verificarne l'affidabilità operativa. Questa fase è cruciale: mette alla prova non solo le logiche decisionali del modello su dati mai visti (streaming dal mercato corrente), ma anche l'infrastruttura tecnica (connessione all'API di trading, latenza, esecuzione ordini, etc.) e la tenuta "psicologica" del sistema, ossia come si comporta senza la "protezione" dell'analisi storica in cui già conosceamo l'esito dei trade.

Risultati preliminari su demo – Nelle prime settimane di test su conto demo, il modello ha effettivamente eseguito operazioni in linea con quelle attese dal backtest: il tipo di segnali generati e la frequenza sono coerenti con quanto osservato storicamente (circa 2–4 trade al mese nei periodi più attivi, e lunghi intervalli flat in assenza di condizioni favorevoli). Alcune operazioni sono state monitorate in dettaglio e confrontate col backtest ipotetico: ad esempio, durante una fase di discesa dell'euro il modello ha evitato di entrare long troppo presto aspettando segnali di inversione, e ha poi aperto un long che in pochi giorni ha portato un profitto di ~ 100 pips, chiuso automaticamente al take-profit. Questo è un caso concreto in cui il modello, in live, si è comportato fedelmente alle aspettative fornite dall'analisi offline. Anche il risk management si è attivato correttamente: in un'occasione in cui un trade aperto si stava muovendo contro, il sistema ha rispettato lo stop-loss prefissato chiudendo la posizione in perdita senza esitazioni, evitando un potenziale peggioramento (confermando la disciplina del kill switch e degli stop automatici).

Dal punto di vista tecnico, la piattaforma API FXCM su cui gira il modello ha mostrato buona affidabilità: non si sono riscontrati finora episodi di slippage significativo

rispetto ai livelli attesi (le esecuzioni in demo sono avvenute a prezzi molto vicini a quelli di mercato indicati dal modello) e i tempi di latenza per inviare ordini sono stati dell'ordine di pochi millisecondi, ampiamente sufficienti dato che la strategia opera su candele giornaliere (non richiede timing intraday al millisecondo). Alcuni piccoli aggiustamenti tecnici sono stati necessari, ad esempio per sincronizzare correttamente il fuso orario dei dati storici con quello del feed live (onde evitare mismatch nel calcolo di feature legate al giorno/orario), ma sono stati risolti senza impatto sull'operatività.

In definitiva, le prime evidenze dal conto demo confermano un comportamento coerente e affidabile del sistema: le prestazioni iniziali in forward test rispecchiano quanto atteso dal backtest, segno che il modello generalizza oltre i dati storici e che l'infrastruttura riesce a eseguire i segnali correttamente. Questa prova pratica rafforza la credibilità del modello in vista di un impiego reale, pur restando limitata a un periodo breve.

### 3.8 Implicazioni operative e limiti del modello

Le analisi svolte e i test iniziali indicano che il sistema `eurusd_pro` possiede un buon grado di robustezza e affidabilità per un potenziale impiego reale. Diversi fattori contribuiscono a questa valutazione positiva:

- **Metodologia rigorosa:** Il modello è stato costruito e validato con metodologie rigorose (cross-validation purgata, walk-forward con aggiornamento periodico, ottimizzazione multi-obiettivo con focus sullo Sharpe, test out-of-sample prolungato), riducendo significativamente il rischio di overfitting. I risultati ottenuti su dati nuovi (demo live) finora rispecchiano il comportamento atteso, segno che il modello generalizza oltre il backtest.
- **Robustezza ai cambiamenti moderati:** Gli stress test e le analisi di sensitività mostrano che il modello regge bene a variazioni moderate nei presupposti. È relativamente insensibile a piccoli errori nei parametri, a costi di transazione ragionevoli, a dati un po' rumorosi, e perfino a qualche trade perso. Questo indica che c'è un margine di sicurezza: le performance non dipendono da una taratura ultra-precisa o da condizioni perfette, ma tollerano l'incertezza dell'ambiente reale.
- **Gestione dinamica del rischio:** La strategia incorpora meccanismi di risk management dinamico (volatility targeting, leve graduate, kill switch sul

drawdown) che l'hanno protetta nel backtest e dovrebbero fare altrettanto in futuro. Anche qualora si verificassero eventi di mercato estremi, non osservati nei dati storici, il sistema ha limitatori interni per contenere i danni: ad esempio ridurrà automaticamente l'esposizione in caso di volatilità eccezionalmente alta, oppure interromperà il trading se le perdite superano una soglia critica. Questo aspetto è fondamentale per l'affidabilità real-money: sapere che esistono "paracadute" integrati aiuta a prevenire la rovina anche in scenari di cigno nero.

- **Basi teoriche solide e adattabilità:** Il modello è basato su principi economici solidi (mispricing di lungo periodo, cicli monetari, ecc.) combinati con tecniche di ML all'avanguardia. Tale connubio fornisce sia validità teorica sia adattabilità pratica. Rimarrà comunque necessario monitorare costantemente le prestazioni e rieseguire periodicamente il training man mano che nuovi dati arrivano, per aggiornare il modello ai nuovi regimi (ad esempio, se in futuro la politica monetaria dovesse convergere a lungo su tassi simili tra USA ed Europa, oppure l'inflazione dovesse stabilizzarsi su livelli persistentemente diversi dal passato, il modello andrà ricalibrato su tali contesti).

Nonostante il quadro complessivamente positivo, è doveroso evidenziare alcune limitazioni e precauzioni operative:

- **Copertura storica limitata:** Il periodo out-of-sample, sebbene significativo, non copre tutte le possibili condizioni di mercato. . Rimane l'incognita di come il modello potrà reagire a situazioni davvero nuove o estreme non presenti nel campione (es. future crisi specifiche dell'Eurozona, cambiamenti di regime macro strutturali, interventi straordinari delle banche centrali, etc.).
- **Test live preliminare:** Il forward test su conto demo è ancora preliminare; serviranno periodi più lunghi e condizioni diverse o con capitale reale (dove entrano in gioco anche fattori comportamentali umani, eventuali problemi di liquidità eseguendo ordini di grande volume, ecc.). Sarà importante proseguire il monitoraggio in demo per un periodo più esteso e su diverse condizioni di mercato; solo dopo aver accumulato sufficiente confidenza statistica si potrà valutare un deployment in produzione reale.
- **Manutenzione del modello:** Andrà curato l'aspetto della manutenzione. Come detto, aggiornamenti periodici (es. retraining trimestrale o semestrale) potranno assicurare che l'ensemble resti al passo coi cambiamenti. Il mercato forex è dinamico: relazioni che hanno funzionato negli ultimi anni potrebbero attenuarsi o invertirsi. Mantenere vivo il modello con nuovi dati e ri-ottimizzazioni controllate è parte integrante del suo ciclo di vita. In aggiunta, bisognerà

tenere d'occhio le metriche di performance in live per cogliere segnali di deterioramento: ad esempio, se si osservasse un calo prolungato dello Sharpe o un drawdown insolitamente ampio rispetto al passato, potrebbe indicare la necessità di una revisione del modello o dei parametri.

- **Disciplina operativa:** Dal punto di vista operativo, l'implementazione reale richiederà disciplina nel seguire il modello senza override emotivi, almeno finché le metriche restano nella norma. Il modello è concepito come quantitative-discretionary, quindi non totalmente automatico – c'è spazio per intervento umano in situazioni eccezionali. Tuttavia, perché l'edge statistico si manifesti, occorre eseguire i trade raccomandati in maniera consistente, salvo evidenti errori o malfunzionamenti. La gestione real-money richiederà dunque un bilanciamento tra fiducia nel modello e capacità critica di riconoscere eventuali cambi di regime non catturati.

In conclusione, questo capitolo ha mostrato come il modello `eurusd_pro` abbia superato con successo un'ampia batteria di test: dalle metriche di backtest soddisfacenti, alla tenuta in diversi regimi di mercato, fino alle prove di robustezza contro perturbazioni varie. Tutti questi elementi concorrono a dipingere un sistema di trading affidabile e robusto, con solide basi teoriche ed evidenze empiriche a supporto. Pur con la dovuta cautela che ogni sistema quantitativo richiede nell'affrontare l'aleatorietà dei mercati, `eurusd_pro` si configura come un candidato promettente per l'operatività reale, avendo dimostrato di saper navigare le acque complesse del cambio EUR/USD con competenza e adattabilità. Le prossime fasi consisteranno nel passaggio graduale a trading reale monitorato e nell'eventuale ulteriore affinamento del modello sulla base dei riscontri ottenuti, mantenendo sempre un approccio prudente e scientifico nel valutarne le prestazioni in condizioni live. In definitiva, l'esperienza condotta suggerisce che unendo macroeconomia, machine learning e rigoroso risk management sia possibile costruire strategie quantitative-discretionary capaci di generare alpha in modo consistente, senza incorrere in eccessivi rischi – una prospettiva incoraggiante per l'evoluzione futura del trading system presentato.

# Conclusioni

Questa tesi ha sviluppato e valutato una strategia *macro-quant* su EUR/USD che integra tre pilastri: (i) un ancoraggio di *fair value* fondato su differenziali macro e monetari, (ii) segnali quantitativi (tecnici e di mispricing) per il *timing*, (iii) un livello rigoroso di *risk management* (filtro di regime, sizing e regole operative). L'obiettivo non è “prevedere sempre” il cambio, bensì assumere rischio soltanto quando l'*edge* è misurabile e all'interno di vincoli stringenti di perdita e volatilità.

## Risultati principali

- **Coerenza economica e segnali direzionali.** L'ancoraggio macro (*fair value*) ha fornito una bussola di medio periodo coerente con le divergenze monetarie tra Fed e BCE; i segnali quantitativi hanno affinato il *timing*, riducendo l'esposizione in fasi di congestione.
- **Gestione del rischio come fattore chiave.** Filtro di regime (volatilità/*term structure*), *volatility targeting* e guard-rails esecutivi (weekend/spread/kill-switch) si sono rivelati determinanti per contenere drawdown e varianze indesiderate.
- **Robustezza empirica.** Analisi per regimi (volatilità bassa vs elevata), *sensitivity* su soglie operative e *ablation* sui gruppi di feature indicano che il contributo informativo è diversificato: l'*edge* non è dovuto a un singolo indicatore ma alla combinazione di segnali.
- **Confronto con benchmark.** Regole semplici (buy&hold, carry nudo, segnali tecnici isolati) risultano inferiori in termini di rapporto rischio/rendimento nelle condizioni valutate, a conferma del valore dell'approccio integrato.

## Implicazioni operative

- **Uso come overlay.** Il modello è adatto come *overlay* discrezionale o come componente sistematica in portafogli multi-asset, per modulare l'esposizione valutaria in presenza di divergenze macro rilevanti.
- **Disciplina di esecuzione.** L'efficacia dipende dalla *disciplina*: aggiornamento dati, prevenzione del *look-ahead*, latenza contenuta e rispetto delle regole (niente forzature contro filtro di regime e guard-rails).
- **Manutenzione del modello.** Retraining periodico (es. rolling window), monitoraggio dei *drift* di distribuzione e controllo qualità delle fonti sono indispensabili per preservare le proprietà osservate fuori campione.

## Limiti dello studio

- **Finestra temporale e stabilità dei regimi.** I risultati dipendono dal periodo considerato; cambi strutturali (regimi di inflazione/tassi) possono alterare le relazioni tra fondamentali e tasso di cambio.
- **Specificazione del fair value.** La scelta dei fattori e delle trasformazioni (differenziali reali, proxy di rischio, normalizzazioni) influisce sull'output; specificazioni alternative potrebbero variare l'intensità dei segnali.
- **Labeling e costi.** Il metodo di etichettatura (orizzonti, *tripla barriera*) e l'ipotesi sui costi di transazione/slippage impattano i risultati; un'esecuzione reale può differire dal *backtest*.

## Sviluppi futuri

- **Arricchimento informativo.** Estendere il set di feature (curva dei tassi, opzionali impliciti, indici di sorpresa macro), nowcasting e indicatori di *risk-on/off* più granulari.
- **Modellazione dinamica.** *Ensemble* con pesi dinamici, *online learning*, rilevazione di *break* strutturali e *regime switching* per adattare i parametri.
- **Generalizzazione cross-FX.** Trasferire il framework ad altre coppie (G10 ed EM) e verificare stabilità dei contributi informativi per geografie diverse.
- **Esecuzione realistica.** Simulazioni con profondità book e *fill rate* empirico, stress test su latenza/blackout e commissioni variabili.

In sintesi, l'approccio proposto non è un oracolo predittivo, ma un *processo* disciplinato per assumere rischio valutario quando la combinazione di fondamentali e segnali di mercato suggerisce un vantaggio statistico, mantenendo il controllo della perdita e della volatilità. Questa integrazione macro-quant, se mantenuta e aggiornata nel tempo, può costituire un tassello credibile per la gestione del rischio di cambio e per decisioni di allocazione più informate.

# **Dichiarazione di originalità ed etica**

Questo elaborato è frutto di lavoro originale dell'autore. Le fonti utilizzate sono correttamente citate nel testo e in bibliografia. I dati impiegati sono pubblici o liberamente accessibili; non sono stati coinvolti soggetti umani né raccolti dati personali. La versione finale sarà sottoposta ai controlli antiplagio previsti dall'Ateneo (Turnitin).

# Bibliografia

- alphavantage*: *Lightweight interface to the Alpha Vantage API*. (n. d.). CRAN R Project. Recuperato 2025-09-19, da <https://cran.r-project.org/package=alphavantage>
- Annual report 2022*. (2023). European Central Bank (ECB). Recuperato 2025-09-19, da <https://www.ecb.europa.eu/pub/annual/html/index.en.html>
- Commitments of Traders: Euro FX – Traders in financial futures*. (n. d.). U.S. Commodity Futures Trading Commission (CFTC). Recuperato 2025-09-19, da <https://www.cftc.gov/MarketReports/CommitmentsofTraders/index.htm>
- European Central Bank (ECB). (2021). The predictive power of equilibrium exchange rate models. *ECB Economic Bulletin*. Recuperato 2025-09-19, da <https://www.ecb.europa.eu>
- Federal Reserve Economic Data (FRED)*. (n. d.). Federal Reserve Bank of St. Louis (FRED). Recuperato 2025-09-19, da <https://fred.stlouisfed.org>
- Foreign exchange: A long run, not a random walk* [Fonte divulgativa non accademica]. (n. d.). Actis. Recuperato 2025-09-19, da <https://www.act.is>
- López de Prado, M. (2018). *Advances in financial machine learning*. Wiley.
- Purchasing power parity (PPP): Definition* [Fonte divulgativa non accademica]. (n. d.). Capital.com. Recuperato 2025-09-19, da <https://capital.com>
- Rogoff, K. (2002). Dornbusch's overshooting model after twenty-five years [Mundell–Fleming Lecture]. *IMF Staff Papers*. Recuperato 2025-09-19, da <https://www.imf.org>
- Spillovers implications of US and euro area shocks* (IMF Working Paper N. WP/15/215). (2015). International Monetary Fund (IMF). Recuperato 2025-09-19, da <https://www.imf.org>
- Transmission mechanism*. (n. d.). European Central Bank (ECB). Recuperato 2025-09-19, da [https://www.ecb.europa.eu/explainers/tell-me-more/html/monetary\\_policy\\_transmission.en.html](https://www.ecb.europa.eu/explainers/tell-me-more/html/monetary_policy_transmission.en.html)