

Dipartimento di Economia e Management

Tesi di Laurea Triennale in Matematica Finanziaria

**Il conflitto tra gli Stati Uniti d'America e la Repubblica
Islamica dell'Iran: effetti sul mercato delle *commodities*
ed opportunità di arbitraggio**

Relatore

Chiar.ma Prof.ssa
Marilena SIBILLO

Candidato

Giulio GAROFOLI

Matr. n. 302381

Indice Sommario

Indice	2
Introduzione	4
Capitolo 1: Mercati e strumenti finanziari	6
1.1. I mercati finanziari	6
1.1.1. Allocazione delle risorse	7
1.1.2. Ridistribuzione del rischio	7
1.1.3. Funzione informativa	8
1.2. Struttura dei mercati finanziaria	8
1.2.1. Mercati primari e secondari	8
1.2.2. Mercati regolamentati e mercati mobiliari non regolamentati	8
1.2.3. Mercato monetario e mercato dei capitali	9
1.2.4. Mercato mobiliare e mercato creditizio	11
1.3. I prodotti finanziari: il mercato dei derivati finanziari	11
1.3.1. Contratti a termine (<i>forward e future</i>)	13
1.3.2. Contratti <i>swap</i>	15
1.3.3. Le opzioni	16
Capitolo 2: Operazioni sui mercati finanziari – l’arbitraggio	17
2.1. Le operazioni sui mercati finanziari – posizioni <i>long e short</i>	17
2.1.1. La finalità operativa: l’ <i>Hedging</i>	17
2.1.2. La finalità speculativa: la Speculazione	18
2.2. Introduzione all’arbitraggio	19
2.2.1. Mercati a pronti (<i>spot</i>) e a termine (<i>forward</i>)	20
2.2.2. Struttura dei tassi a pronti e a termine – la curva dei rendimenti	21
2.2.3. La Legge del Prezzo Unico e la condizione di non arbitraggio	23
2.2.4. Il <i>Cost of Carry</i> ed il <i>convenience yield: Theory of Storage</i>	25

2.3. Strategie di arbitraggio: <i>C&C</i> e <i>Reverse C&C arbitrage</i>	29
Capitolo 3: Analisi empirica: il petrolio WTI ed il conflitto in Medio Oriente .	35
3.1. Introduzione ed obiettivi dell'analisi	35
3.2. Il contesto geopolitico: la guerra tra gli Stati Uniti d'America e la Repubblica Islamica dell'Iran	35
3.3. Dataset e metodologia	36
3.3.1. Il <i>rollover</i> dei contratti <i>future</i>	37
3.3.2. Calcolo del <i>fair value</i> ed ipotesi semplificatrici	38
3.4. Risultati empirici e considerazioni	42
3.4.1. Le bande di Bollinger come misura alternativa dell'efficienza di mercato	49
3.4.2. Metodologia ed evidenze empiriche	49
Conclusioni	55
Appendice	57
Bibliografia	62
Sitografia	64

Introduzione

Il presente lavoro si propone di analizzare le opportunità di arbitraggio, ove presenti, durante il periodo caratterizzato da notevoli tensioni e controversie tra gli Stati Uniti d'America e la Repubblica Islamica dell'Iran. L'obiettivo principale è osservare come questioni di natura geopolitica influenzino significativamente la stabilità dei mercati, determinando inefficienze che, qualora vengano sfruttate, potrebbero permettere di conseguire un profitto. Tale studio si rivolge al mercato delle *commodities* e, più precisamente, al petrolio. Quest'ultimo ha subito tutti gli effetti e le conseguenze del conflitto tra i due Paesi, tuttora in corso.

Nel Capitolo 1 sono introdotti i mercati finanziari e gli strumenti negoziati al loro interno. Si propone una tassonomia dei mercati, evidenziando le loro funzioni, con un breve *excursus* sugli intermediari finanziari, per poi passare agli strumenti maggiormente negoziati ed alle loro peculiarità. Infine, una sezione dedicata ai mercati ed ai titoli derivati, con particolare riferimento ai contratti *futures*, che saranno essenziali ai fini dell'analisi.

Il Capitolo 2 presenta un inquadramento teorico dell'arbitraggio. Si descrive, tra l'altro, la legge del prezzo unico, la condizione di scindibilità di una legge finanziaria, per giungere successivamente alla condizione di non arbitraggio. Viene altresì osservato cosa accade nel momento in cui la suddetta condizione non è soddisfatta, identificando due potenziali strategie che gli operatori possono adottare: il *cash and carry* ed il *reverse cash and carry arbitrage*.

Infine, il Capitolo 3 presenta il menzionato caso pratico, individuando eventuali opportunità di arbitraggio e le relative strategie adottabili. Quindi, laddove possibile, si evidenzia lo stretto legame che intercorre tra le dinamiche del mercato ed il conflitto oggetto di analisi. Si affronta anzitutto la metodologia, presentando i dati utilizzati ed i metodi adottati per poter trarre delle considerazioni empiriche. In particolare, per quanto riguarda l'individuazione di arbitraggi considerabili "significativi" (ossia arbitraggi che, per quanto previsti sul piano teorico, siano verosimili, date le circostanze del mercato in quel determinato istante), si adopererà un confronto tra due differenti modelli: da un lato, l'adozione della deviazione standard per stabilire la soglia oltre la quale un arbitraggio è ritenuto rilevante; dall'altro, le bande di Bollinger, con finestre di ampiezza rispettivamente pari a dieci e venti giorni. Inoltre, sarà proposto un sintetico confronto tra le due metodologie, mostrando i risultati conseguiti.

Da ultimo, una precisazione, anticipata nella presente introduzione, che il lavoro svolto ha natura prevalentemente teorica: gli episodi di arbitraggio individuati risultano validi sul piano formale, ma non necessariamente realizzabili nella pratica in modo certo e privo di rischio. Si intende comunque mostrare come l'impianto teorico costituisca una base utile per la costruzione di strategie e di analisi di mercato applicabili nella realtà operativa.

Capitolo 1 – Mercati e strumenti finanziari

1.1. I mercati finanziari

I mercati finanziari svolgono la funzione economica fondamentale di trasferire le risorse finanziarie da operatori che hanno un'eccedenza di fondi (unità in *surplus*), a quelli che ne presentano una carenza (unità in *deficit*). La finalità è soddisfare i bisogni di soggetti disposti ad investire le loro risorse in progetti che successivamente consentiranno di conseguire un profitto, agli stessi sotto forma di interessi, e ai debitori sotto forma di profitti derivanti dall'attività oggetto dell'investimento iniziale.

I mercati finanziari rientrano nel più ampio “sistema finanziario”, che è composto da tre componenti cruciali: i mercati finanziari, gli strumenti finanziari e gli intermediari finanziari. Strumenti e intermediari finanziari sono entrambi presenti sui mercati finanziari. Gli strumenti finanziari hanno la funzione di rendere più semplice il trasferimento di risorse economiche tra gli operatori e saranno analizzati più dettagliatamente in seguito (Mishkin, 2025).

Gli intermediari si propongono di facilitare l'incontro tra unità in *surplus* e unità in *deficit*, riducendo notevolmente i costi di transazione tra le parti grazie allo sfruttamento di economie dimensionali (economie di scala) e di scopo. Questi costituiscono il c.d. “circuito indiretto”, nel quale le parti non operano direttamente, bensì tramite intermediari qualificati quali - a titolo esemplificativo - banche, Società di Intermediazione Mobiliare (SIM), Società di Gestione del Risparmio (SGR).

Inoltre, gli intermediari finanziari risolvono il problema dell'asimmetria informativa tra le parti. Infatti, capita frequentemente che un soggetto che prende parte ad uno scambio finanziario non disponga di adeguate informazioni sulla controparte. Ciò rende complicato adottare decisioni adeguate e comporta due possibili circostanze, rispettivamente, in fase di contrattazione e successivamente alla transazione: la selezione avversa e l'azzardo morale.

La selezione avversa si verifica nel momento in cui una parte dispone di informazioni su una caratteristica non nota alla controparte. Tali informazioni potranno essere sfruttate per trarne un vantaggio economico, effettuando una transazione a condizioni piuttosto favorevoli.

L'azzardo morale, d'altra parte, si verifica dopo l'avvenuta transazione. In questo caso, una parte ben informata può intraprendere un'azione non osservabile, danneggiando la controparte meno informata (Mishkin, 2025).

Tali problematiche vengono risolte dagli intermediari finanziari grazie alla loro capacità di agire come produttori specializzati di informazioni.

Nello specifico, la selezione avversa viene mitigata attraverso un'accurata attività di *screening* (selezione iniziale): l'intermediario, sfruttando professionalità e accesso a dati non pubblici (informazioni riservate), è in grado di distinguere i prenditori di fondi meritevoli da quelli eccessivamente rischiosi, riducendo l'opacità del mercato.

L'azzardo morale, invece, viene contenuto tramite il cosiddetto *monitoring* (monitoraggio delegato). Grazie a relazioni di lungo periodo con la clientela, gli intermediari possono osservare il comportamento dei debitori dopo l'erogazione del capitale, assicurandosi che le risorse vengano impiegate per le finalità pattuite e scoraggiando condotte opportunistiche.

La funzione principale del mercato finanziario può essere articolata in tre sotto-funzioni.

1.1.1. Allocazione delle risorse

I mercati finanziari favoriscono la distribuzione delle risorse finanziarie nei diversi settori economici, consentendo di indirizzare le stesse verso gli investimenti maggiormente produttivi (CONSOB, 2026), sulla base delle decisioni degli investitori e delle informazioni incorporate nei prezzi (funzione informativa).

1.1.2. Ridistribuzione del rischio

Le operazioni sui mercati finanziari sono caratterizzate da un determinato livello di incertezza. In questo contesto, mercati ed intermediari finanziari assumono un ruolo fondamentale per la mitigazione del rischio. I mercati, da un lato, consentono di effettuare una adeguata diversificazione del portafoglio di investimento grazie alla varietà degli strumenti offerti. Gli intermediari, dall'altro, oltre a soddisfare le richieste dei vari clienti in base ai rispettivi profili di rischio, adottano la “mutualizzazione del rischio” al fine di evitare perdite future inattese. Tale metodo consiste nel valutare la solvibilità di ciascun debitore, individuando quelli più incerti (i cosiddetti *bad payers*). Una volta eseguita questa operazione di valutazione, l'intermediario procede a redistribuire le quote di competenza di ciascun

debitore tra coloro che saranno, con maggiore probabilità, solventi (i *good payers*) (Nicolini, 2026).

1.1.3. Funzione informativa

Come detto in precedenza, i mercati finanziari riportano i prezzi degli strumenti finanziari e le relative variazioni dovute a vari operatori, sia non professionali (famiglie) che professionali (banche, imprese, fondi comuni di investimento). Questi dati sono preziosi per i risultati futuri degli emittenti e dei singoli investimenti. Infatti, il prezzo di mercato incorpora tutte le informazioni rilevanti sul mercato in quel momento, consentendo agli investitori di prendere decisioni coerenti con le condizioni dei mercati in un dato momento e di effettuare adeguate attività di *screening* e valutazione.

1.2. Struttura dei mercati finanziari

I mercati finanziari possono essere individuati sulla base di diverse variabili (tipologia di strumenti negoziati, trasferibilità degli strumenti...). Se ne distinguono conseguentemente differenti categorie.

1.2.1. Mercati primari e secondari

Il mercato primario è un mercato finanziario in cui avviene il collocamento dei titoli di nuova emissione: si tratta di un mercato in cui l'impresa o l'amministrazione pubblica che prende a prestito le risorse finanziarie emette nuovi titoli, obbligazioni o azioni collocati presso gli investitori iniziali.

Diversamente, sul mercato secondario vengono venduti o acquistati titoli già in circolazione. In secondo luogo, i prezzi formati sul mercato secondario costituiscono un riferimento fondamentale per il *pricing* delle nuove emissioni sul mercato primario. Quanto più elevato sarà il prezzo dei titoli del mercato secondario, tanto più alto sarà il pagamento che l'impresa emittente riceverà per i nuovi titoli nel mercato primario.

1.2.2. Mercati regolamentati e mercati mobiliari non regolamentati

I mercati secondari sono organizzati in due modi.

La prima modalità è costituita dai mercati regolamentati quali le borse valori, riconosciute espressamente dall'ordinamento e oggetto di autorizzazione ad operare, nonché di

regolamentazione in merito ai requisiti minimi della società che li gestisce e alle regole organizzative e di funzionamento. Il principale mercato finanziario regolamentato italiano (i.e. la Borsa Italiana) è gestito da Borsa Italiana S.p.A.

L'altra modalità per organizzare il mercato secondario consiste nel predisporre un mercato mobiliare non regolamentato (c.d. *Over-The-Counter* – OTC), ovvero un luogo, fisico o virtuale, in cui gli operatori negoziano direttamente, spesso tramite intermediari (*dealer* e *broker*), strumenti finanziari anche altamente personalizzati (Borsa Italiana, 2026; Mishkin, 2025). I *dealer* rappresentano intermediari che si occupano di acquistare lo strumento del *seller* per rivenderlo ad un *buyer*, traendo un profitto dallo *spread* tra il prezzo di acquisto e quello di vendita.

Al contrario, i *broker* si occupano solamente di trovare compratori e venditori di specifici strumenti finanziari, senza subentrare direttamente in fase di compravendita, guadagnando tramite una commissione sul valore dell'operazione.

1.2.3. Mercato monetario e mercato dei capitali

Nel mercato monetario sono negoziati titoli di debito a breve termine (con durata massima pari ad un anno), mentre nel mercato dei capitali sono scambiati titoli a medio-lungo termine. Di conseguenza, i titoli del mercato monetario sono scambiati con maggiore frequenza e, per l'effetto, tendono ad essere maggiormente liquidi. I mercati monetari sono anche considerati “mercati all'ingrosso”, vale a dire che le transazioni sono solitamente costituite da valori unitari consistenti. Con tale espressione si intende che le singole transazioni sui mercati monetari hanno un valore nominale minimo estremamente elevato. Conseguentemente, diviene difficile per i singoli investitori partecipare ai mercati monetari. Gli stessi sono per lo più mercati non regolamentati (*Over-The-Counter* – OTC), pertanto la loro funzione è fornire condizioni più favorevoli per scambi di fondi a breve termine, laddove non vi sia necessità che gli intermediari subentrino nel rapporto tra le parti (ad esempio, qualora il problema di asimmetria informativa non risulti particolarmente rilevante). Ai fini della tesi, il mercato monetario si rivela fondamentale, in quanto costituisce il parametro di riferimento per il tasso *risk-free*, vale a dire il tasso di interesse associato all'investimento in un'attività priva di rischio. Quest'ultimo sarà fondamentale per la determinazione del *fair value* del contratto *future*, come si vedrà nel capitolo successivo.

Tra i principali strumenti negoziati sul mercato monetario rientrano ad esempio i Buoni Ordinari del Tesoro (BOT) in Italia, i *Treasury Bills (T-Bills)* negli Stati Uniti, le *commercial paper*, i certificati di deposito e le operazioni di pronti contro termine (*repo*).

Per quanto riguarda il mercato dei capitali, esso si divide a sua volta nel mercato dei titoli di debito e in quello dei titoli azionari.

Le aziende raccolgono capitale sui mercati finanziari in due modi: tramite l'emissione di obbligazioni e di azioni. Differenza sostanziale tra i suddetti strumenti è che le azioni, contrariamente alle obbligazioni, costituiscono una quota di proprietà dell'impresa. Gli azionisti hanno diritto a partecipare agli utili dell'impresa (proporzionalmente alla quota detenuta) e all'assemblea degli azionisti.

Le obbligazioni costituiscono invece uno strumento di debito. Esse prevedono un contratto in virtù del quale una parte (il prestatore di fondi) si impegna a eseguire pagamenti periodici e costanti al prestatore (nonché detentore dello strumento stesso). Rispetto alle azioni, le obbligazioni offrono all'emittente un maggior grado di flessibilità nella strutturazione dello strumento; infatti, egli può modulare le caratteristiche del titolo in funzione delle proprie esigenze di finanziamento e delle condizioni di mercato, scegliendone la scadenza (breve termine e medio-lungo termine), la modalità di rimborso (*bullet*, *amortizing* e *callable*) (Nicolini, 2026) e la tipologia di tasso adottata (tasso fisso o tasso variabile).

È opportuno sottolineare che le imprese non sono le uniche a partecipare al mercato dei capitali. Infatti, lo Stato spesso si finanzia facendo ricorso all'emissione di titoli di Stato, così come gli enti territoriali, i quali emettono obbligazioni a lungo termine.

Con riferimento alle azioni, esse possono essere “ordinarie” oppure “privilegiate”. Le prime conferiscono ai detentori diritto di voto e di partecipazione agli utili. Diversamente, le azioni privilegiate garantiscono priorità in eventuali dividendi distribuiti dalla società e nella liquidazione, limitando tuttavia il diritto di voto alle sole questioni relative ai diritti patrimoniali. Di conseguenza, i possessori di azioni ordinarie sono *residual claimant*, dal momento che la società è legalmente tenuta a rimborsare tutti i suoi creditori (oltre agli obbligazionisti ed ai detentori di azioni privilegiate) prima di rimborsare i detentori di azioni ordinarie.

1.2.4. Mercato mobiliare e mercato creditizio

Tale distinzione risiede nella trasferibilità dei titoli negoziati. Gli strumenti negoziati nel mercato dei titoli di debito possono essere trasferibili o meno. Per esempio, un'obbligazione è un titolo trasferibile, contrariamente ad un mutuo. Gli strumenti non trasferibili sono negoziati sul mercato creditizio e sono caratterizzati da un elevato grado di personalizzazione, dal momento che le condizioni stabilite nel contratto rispecchiano le esigenze del singolo debitore. Tuttavia, è rilevante sottolineare che la trasferibilità dipende principalmente dalla natura giuridica dello strumento stesso. Sul mercato mobiliare vengono negoziati titoli che possono essere liberamente trasferiti a terzi, senza necessità di rinegoziare il contratto o ottenere il consenso del debitore, quali azioni e obbligazioni.

Al contrario, sul mercato creditizio si trovano strumenti il cui diritto è incorporato nel contratto stesso, legato alle specifiche caratteristiche delle parti, alle garanzie prestate ed alle condizioni negoziate individualmente. Ne sono esempi il mutuo e i prestiti bancari.

Vale tuttavia precisare che, nella pratica, il confine tra i due mercati non è netto. Infatti, le banche possono adoperare la cartolarizzazione dei crediti, trasformando strumenti non trasferibili in titoli negoziabili, mediante società appositamente costituite, definite “Special Purpose Vehicle” (SPV) (Nicolini, 2026).

1.3. I prodotti finanziari: il mercato dei derivati finanziari

I prodotti finanziari rappresentano l'insieme degli strumenti finanziari e di ogni altra forma di investimento di natura finanziaria. Essi sono negoziati sui mercati finanziari e sono elencati nel Testo Unico della Finanza (TUF). Questi possono essere raggruppati nelle seguenti macrocategorie: strumenti di debito, strumenti di capitale, strumenti del mercato monetario, strumenti ibridi e derivati.

Gli strumenti di debito sono costituiti dalle obbligazioni e dai prestiti, mentre gli strumenti di capitale dalle azioni (ordinarie e privilegiate).

Gli strumenti del mercato monetario sono titoli di debito a breve termine, con scadenza solitamente inferiore all'anno, tipicamente emessi da governi, istituzioni finanziarie e aziende. In tale categoria rientrano, ad esempio, Buoni del Tesoro (T-Bills), *commercial*

papers e Certificati di Deposito (CD). Per un elenco completo degli strumenti finanziari si rimanda all'art. 1 del Testo Unico della Finanza (d.lgs. 24 febbraio 1998 n. 58).

Negli strumenti ibridi rientrano invece alcune categorie particolari di azioni e obbligazioni, come le obbligazioni convertibili e le azioni privilegiate convertibili. Questi strumenti incorporano un'opzione, che conferisce al possessore il diritto di convertire l'obbligazione in azioni ordinarie o, nel caso delle azioni privilegiate convertibili, di trasformarle in azioni ordinarie secondo le condizioni previste dal contratto. Dunque, si tratta di strumenti che hanno caratteristiche sia di obbligazioni che di azioni. Le obbligazioni convertibili non devono poi essere confuse con le obbligazioni *cum warrant*. Infatti, in tal caso avviene la sottoscrizione di due strumenti distinti: l'obbligazione ed il *warrant*. Quest'ultimo ha carattere opzionale e consente la sottoscrizione di azioni dell'impresa emittente a condizioni prestabilite. È dunque da considerarsi come un investimento aggiuntivo e, conseguentemente, può essere “separato” dall'obbligazione, rendendo possibile lo scambio dell'obbligazione *cum warrant*, *ex warrant* o del solo *warrant* (Mishkin, 2025).

Infine, gli strumenti derivati riguardano tutti gli strumenti il cui valore “deriva” dall'andamento del valore di un'altra attività (il sottostante), di natura finanziaria o reale. Il fondamento di tali strumenti riguarda le aspettative dei vari soggetti circa l'andamento e lo sviluppo futuro del sottostante.

Inoltre, gli strumenti finanziari consentono di adoperare una riduzione del rischio (come si vedrà successivamente), dando la possibilità di intraprendere un'operazione finanziaria di vendita (*short*) che compensa una posizione di acquisto (*long*) e viceversa.

I derivati non sono sempre quotati in mercati regolamentati. Infatti, alcuni di essi (in particolare *forward*, *swap* e opzioni) vengono negoziati prevalentemente su mercati non regolamentati (*Over-The-Counter* - OTC). Ne consegue che le clausole contrattuali saranno note alle sole controparti, permettendo dunque di realizzare strumenti piuttosto complessi.

L'utilizzo di tali strumenti è strettamente legato alle diverse finalità perseguite dagli operatori (copertura, speculazione e arbitraggio), le quali verranno analizzate in dettaglio nel capitolo successivo in quanto fondamentali per la comprensione delle dinamiche di formazione dei prezzi.

1.3.1. Contratti a termine (*forward* e *future*)

Un contratto a termine è stipulato tra due parti, che si impegnano, rispettivamente, a comprare e vendere un *asset* (il sottostante) ad un prezzo e una scadenza prefissati. Il rischio ed il rendimento del contratto dipendono dall'andamento del bene sottostante e dalle variazioni del relativo valore.

Come già detto, due sono gli operatori che prendono parte in tale negoziazione, conseguentemente due saranno le posizioni assunte.

Da un lato, una posizione *long*, riferita al compratore del bene. Quest'ultimo, dal momento che acquista il bene ad un prezzo e ad una data prefissata, trarrebbe vantaggio da un apprezzamento del valore del bene. Infatti, qualora il valore del bene sottostante si apprezzasse, l'acquirente otterrebbe il bene ad un prezzo conveniente rispetto a quello di mercato. Ovviamente, il rischio principale è rappresentato da uno scenario opposto, nel quale il valore del bene si deprezza, costringendo l'acquirente a spendere più rispetto ad un acquisto del bene al prezzo di mercato.

Dall'altro, la posizione *short*, assunta dal venditore del bene. In questo caso, i rischi ed i benefici tratti sono diametralmente opposti a quelli del compratore. Dunque, se il valore del sottostante si apprezza, il venditore perde l'occasione per vendere ad un prezzo maggiore. Qualora invece il valore subisse un deprezzamento, la vendita si rivelerebbe proficua consentendo di evitare prezzi bassi sul mercato.

Sia T la data di scadenza del contratto a termine, $F(0,T)$ il prezzo stabilito nel contratto al tempo 0 e pagato alla scadenza T , ed S_T il prezzo spot del bene sottostante il contratto al tempo T . Seguendo Hull, 2015, possiamo definire il *payoff* a scadenza T per una posizione *long* (acquirente) come:

$$Payoff_T = S_T - F(0,T) \quad (1.1)$$

Specularmente, definiamo il *payoff* a scadenza T per la posizione *short* (venditore) come:

$$Payoff_T = F(0,T) - S_T \quad (1.2)$$

Si noti che Hull, 2015, indica il prezzo di consegna del contratto a termine con K anziché con $F(0,T)$. Nella presente trattazione si è scelto di adottare la notazione $F(0,T)$ per rendere esplicito il legame tra il prezzo pattuito al tempo 0 e la scadenza T del contratto.

Nei contratti a termine rientrano i contratti *future* e *forward*. La differenza sostanziale tra le due tipologie consiste nel fatto che i primi sono negoziati su mercati regolamentati, contrariamente ai *forward* che sono tipicamente scambiati su mercati non regolamentati (OTC). Tuttavia, sebbene simili tra loro, si ritiene opportuno precisare le caratteristiche peculiari di ciascuno di essi.

I contratti *forward* prevedono un accordo tra due parti al fine di eseguire una transazione finanziaria in un futuro determinato. Si tratta di strumenti estremamente flessibili, che consentono alle parti di imporre le relative condizioni per quanto riguarda il tipo di strumento di debito che è oggetto del trasferimento futuro, la relativa quantità, il prezzo dello strumento e la data in cui avverrà lo stesso. Ciò comporta, d'altra parte, due potenziali ostacoli. Il primo è proprio l'elevata flessibilità che si rivela essere un'arma a doppio taglio: se da un lato consente alle parti di sviluppare un accordo che risponda alle rispettive esigenze, dall'altro rende difficile trovare controparti con cui negoziare, dal momento che sarà necessario trovare soggetti interessati ad uno specifico strumento e a specifiche condizioni contrattuali. Di conseguenza, il mercato dei *forward* presenta una scarsa profondità, intesa come la capacità del mercato di assorbire ordini di acquisto e vendita senza che ciò provochi variazioni significative nei prezzi. L'elevata personalizzazione dei contratti *forward* rende infatti difficile trovare controparti, riducendo il volume degli scambi. Conseguentemente, gli operatori saranno costretti a variare significativamente i prezzi al fine di trovare controparti disposte ad accettare le condizioni contrattuali previste.

Il secondo ostacolo riguarda il rischio di trovare una controparte che, tuttavia, non sia disposta ad accettare le condizioni imposte. Quest'ultima potrebbe offrire un prezzo differente da quello auspicato.

Un'ulteriore complicazione riguarda il rischio di insolvenza. Come già puntualizzato, i contratti *forward* vengono negoziati su mercati non regolamentati. Ciò implica che non vi è alcuna istituzione esterna che garantisca il contratto. È quindi compito delle parti accertare la reciproca sanità finanziaria.

I contratti *future* detengono alcune caratteristiche che permettono di risolvere i già citati problemi di insolvenza e di liquidità. Innanzitutto, il singolo contratto, una volta acquistato o venduto, può essere scambiato nuovamente, in qualsiasi momento, fino alla data di scadenza, contrariamente al *forward* che, una volta sottoscritto, non può più essere scambiato.

Inoltre, la maggior parte dei *future* non implica il trasferimento dell'attività sottostante a scadenza. Infatti, il *trader* che ha venduto il *future*, può evitare il trasferimento attraverso una operazione di acquisto.

Infine, la negoziazione presso mercati regolamentati garantisce agli investitori copertura in caso di insolvenza di una delle parti. Infatti, queste ultime non stipulano tra loro in modo diretto, ma tramite un intermediario, che si assicura che le parti versino un deposito iniziale obbligatorio, che verrà versato successivamente presso la Cassa di Compensazione e Garanzia (CCG). Questo margine iniziale è sottoposto a revisioni quotidiane come conseguenza del *marking to market*, vale a dire una analisi nelle variazioni di valore del *future*, che vengono aggiunte o detratte dal conto di garanzia (Mishkin, 2025).

1.3.2. Contratti *swap*

Tramite tale tipologia di contratti due parti si scambiano reciprocamente flussi di cassa nel corso di un periodo predeterminato. La suddetta categoria di derivati viene negoziata prevalentemente su mercati non regolamentati, come i contratti *forward*. Tra gli *swap* più noti ve ne sono tre in particolare, la cui differenza principale consiste nel sottostante di riferimento:

- *Interest Rate Swap*: a titolo esemplificativo, lo scambio di un flusso a tasso fisso con un flusso a tasso variabile, indicizzato sulla base di un parametro di riferimento e applicato ad un “capitale nozionale”, che non viene mai effettivamente scambiato tra le parti, ma serve esclusivamente come base di calcolo per i flussi di cassa. Come per i mercati dei *forward*, possono soffrire di mancanza di liquidità, nonché essere soggetti al rischio di insolvenza;
- *Currency Swap*: lo scambio di flussi in valute diverse. In questo caso, sempre sulla base di un capitale nozionale di riferimento, un flusso sarà erogato in euro, mentre l'altro in dollari, sulla base del relativo tasso di cambio;
- *Credit Default Swap*: acquistato da soggetti (c.d. *protection buyers*) che intendono assicurarsi contro la possibilità di eventi negativi, oppure da speculatori che

“scommettono” sul fallimento del soggetto in questione. Il venditore è solitamente un ente assicurativo o finanziario (c.d. *protection seller*), il quale incassa dei premi periodici (c.d. *CDS Spreads*) fino alla scadenza del contratto o fino al verificarsi dell’evento dal quale ci si vuole tutelare. In tal caso, il *protection seller* si impegnerà a versare una somma (c.d. *protection leg*) a copertura delle perdite subite dal *protection buyer* (Nicolini, 2026).

1.3.3. Le Opzioni

Quest’ultima categoria di derivati costituisce probabilmente la più peculiare fra quelle analizzate. Infatti, le opzioni rappresentano contratti che attribuiscono al soggetto interessato il diritto (non l’obbligo) ad acquistare/vendere una data quantità di un bene (sottostante), ad una data e ad un prezzo predeterminati (rispettivamente *exercise date* e *strike price*). Si segnala che, nelle Opzioni Europee, la facoltà di esercizio può essere fatta valere solo alla scadenza, mentre nelle Opzioni Americane il diritto di esercizio può essere esercitato in un qualsiasi istante compreso tra la data di stipula del contratto e quella di scadenza. Qualora l’opzione costituisca il diritto ad acquistare il bene si parla di opzione *call*, mentre l’opzione *put* attribuisce il diritto a vendere il bene stesso.

L’acquisto dell’opzione prevede il pagamento di un premio iniziale, che rappresenta proprio il valore del diritto conferito all’acquirente.

L’opzione si definisce *in the money* nel momento in cui il suo esercizio produce un profitto in termini di costo opportunità, viceversa nel caso in cui sia *out of the money*. Ciò significa che, nel caso di una *call*, ad esempio, qualora il prezzo del sottostante aumenti superando il prezzo di esercizio, il detentore dell’opzione eserciterà la *call*, acquistando il sottostante stesso allo *strike price* invece del prezzo di mercato¹. Infine, l’opzione è *at the money* nel momento in cui il suo prezzo di esercizio è uguale al prezzo dell’*asset* sottostante (Bodie et al., 2024).

¹ Scenario opposto nel caso di una *put option*. Pertanto, l’opzione risulterà *in the money* qualora il prezzo di esercizio sia maggiore del prezzo di mercato del sottostante. Sarà invece *out of the money* quando il prezzo di esercizio risulti minore del prezzo di mercato.

Capitolo 2 – Operazioni sui mercati finanziari – L'arbitraggio

2.1. Le operazioni sui mercati finanziari – posizioni *long* e *short*

Come già accennato precedentemente, gli operatori sui mercati finanziari perseguono diversi obiettivi, in base ai quali orientano le loro decisioni strategiche ed operative. In ciascuna operazione, gli operatori possono assumere due posizioni, già citate precedentemente, una “lunga” (*long*) e l'altra “corta” (*short*).

La prima identifica un soggetto che compra un *asset* al tempo $t=0$ per rivenderlo successivamente, in $t=T$, traendo profitto da un apprezzamento del valore dell'*asset*. La seconda invece individua uno scenario opposto, in cui l'operatore vende l'*asset* in $t=0$ (spesso ricorrendo al prestito nel mercato *spot* o assumendo un impegno alla vendita nei mercati derivati). Successivamente, ad una data $t=T$ prestabilita, questo si impegnerà a riacquistare l'*asset* al nuovo valore di mercato per restituirlo al prestatore. Dunque, tale posizione è finalizzata a trarre profitto da un *trend* ribassista dei prezzi, capitalizzando la differenza tra il prezzo di vendita iniziale e il prezzo di riacquisto finale dell'*asset*.

Posizione	$t=0$	$t=T$	Payoff
Long	Acquisto dell' <i>asset</i> : $-S_0$	Vendita dell' <i>asset</i> : $+S_T$	$S_T - S_0$
Short	Vendita dell' <i>asset</i> : $+S_0$	Acquisto dell' <i>asset</i> : $-S_T$	$S_0 - S_T$

Tabella 2.1 – Analisi dei flussi finanziari e payoff per le posizioni Long e Short

Precisate le suddette strategie, possiamo definire le operazioni principali compiute sui mercati finanziari: *hedging*, speculazione e arbitraggio.

2.1.1. La finalità operativa: l'*hedging*

Il termine *hedging* si traduce letteralmente in “copertura”. Si tratta di una strategia finanziaria fondata sulla protezione dell'investimento dalla variazione dei prezzi, che potrebbe causare perdite inattese. Nella pratica, consiste nell'assumere una posizione opposta o compensativa rispetto a quella originaria, utilizzando strumenti finanziari derivati o altri *asset*

la cui fonte di rischio sia la medesima che influenza il valore della posizione da coprire, oppure sia ad essa correlata.

A titolo esemplificativo, si consideri un produttore di petrolio che, al tempo $t=0$, prevede di vendere una determinata quantità di barili al tempo $t=T$ (supponiamo tra tre mesi). Il rischio principale per l'operatore è rappresentato da un ribasso del prezzo *spot* del greggio nel periodo intercorrente. Per neutralizzare tale rischio, il produttore assume una posizione “corta” (*short*) su contratti *future* con scadenza T , fissando un prezzo di vendita pari a 82\$ al barile.

Al momento della scadenza, si possono verificare due scenari:

- ribasso del prezzo: ipotizziamo che a scadenza il prezzo spot scenda a 60\$ al barile. In questo caso, l'operatore subirà in T una perdita dovuta alla vendita del petrolio sul mercato fisico ad un prezzo spot inferiore, ossia $S_T = 60$. Tuttavia, tale perdita sarà compensata dal profitto ottenuto a scadenza sul mercato dei derivati. Vale a dire: $F_0 - S_T = 82\$ - 60\$ = 22\$$;
- rialzo del prezzo: in questo scenario invece, i prezzi spot a scadenza aumentano, per esempio, fino a 100\$ al barile. L'operatore realizza un profitto vendendo il petrolio sul mercato fisico; tuttavia, percepisce una perdita di pari importo sulla posizione *Future* pari a: $S_T - F_0 = 100\$ - 82\$ = 18\$$.

Come si può osservare, in entrambi gli scenari l'operatore riesce a neutralizzare la volatilità dei prezzi del mercato (sia che si tratti di un *trend* rialzista che ribassista), conseguendo un ricavo netto pari al prezzo di vendita stabilito dal contratto *future*, ossia 82\$.

2.1.2. La finalità speculativa: la speculazione

La speculazione è un'operazione finalizzata alla ricerca di un profitto derivante dallo sfruttamento delle variazioni dei prezzi nel breve-medio termine. Essa si fonda sulle previsioni future di mercato e, differentemente dall'*hedging*, che rappresenta una strategia di mitigazione del rischio volta a proteggere l'investimento da variazioni inattese dei prezzi, comporta l'assunzione consapevole di rischi legati alla natura incerta ed ipotetica delle previsioni formulate.

Come riportato nella Tabella 2.1 che precede, lo speculatore sceglierà la posizione da assumere a seconda delle previsioni sull'andamento dei prezzi. In caso di previsioni di un

rialzo ($S_T > F(0,T)$), lo speculatore assumerà una posizione *long* su un contratto *future* al tempo 0, acquistando il bene sottostante a scadenza al prezzo $F(0,T)$. Specularmente, per un trend ribassista ($S_T < F(0,T)$), la strategia sarà di assumere una posizione *short* sul *future*, impegnandosi a vendere il sottostante a scadenza al prezzo $F(0,T)$.

2.2. Introduzione all'arbitraggio

In sintesi, l'*hedger* mira a proteggere gli investimenti dal rischio di prezzo, mentre lo speculatore assume consapevolmente tale rischio con l'auspicio di trarre profitto dalle variazioni dei prezzi stessi.

Possiamo introdurre la terza operazione fondamentale: l'arbitraggio.

Con il termine arbitraggio si indica un'operazione che consente di ottenere un profitto certo senza che il soggetto che la realizza corra alcun rischio. Solitamente, tale operazione consiste nell'acquisto/vendita di un bene e nella vendita/acquisto dello stesso bene su un mercato diverso dal precedente. È fondamentale che le due operazioni siano di segno opposto. L'obiettivo è, dunque, lo sfruttamento di disallineamenti temporanei dei prezzi per uno stesso bene su mercati diversi. In alternativa, l'arbitraggio può essere effettuato con prodotti diversi ma perfettamente sostituibili tra loro e con identico *payout*.

Il disallineamento temporale dei prezzi costituisce il segnale di una inefficienza del mercato, solitamente di tipo informativo.

Tipicamente, gli strumenti finanziari più frequentemente oggetto di arbitraggio sono i derivati, dal momento che intercorre uno stretto legame tra il prezzo del titolo sottostante e del relativo titolo derivato. Dunque, se la speculazione si basa sul fattore temporale (acquisto/vendo oggi per vendere/acquistare tra un mese), l'arbitraggio è un'operazione estremamente rapida, che sfrutta il fattore spaziale (acquisto/vendo su un mercato per vendere/acquistare su un altro). Ciò non significa che l'arbitraggio possa sempre essere messo in atto. Infatti, come detto, è necessario pur sempre un disallineamento dei prezzi in un determinato momento. Ad esempio, nel mercato delle *commodities*, la forma di arbitraggio più nota si fonda sulla discrepanza tra il prezzo spot (vale a dire il prezzo per acquistare/vendere il bene ora) del bene ed il prezzo pattuito per acquistare/vendere in futuro (prezzo *future*).

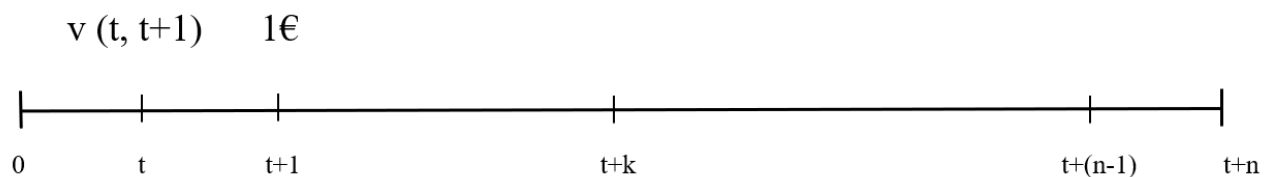
In questo contesto, il legame tra i due prezzi viene evidenziato da una relazione teorica, la Legge del Prezzo Unico, della quale si discuterà nei paragrafi successivi.

2.2.1. Mercati a pronti (*spot*) e a termine (*forward*)

Le negoziazioni sui mercati finanziari si articolano in due contratti principali: i contratti a pronti e i contratti a termine.

Nel contratto a pronti il prezzo viene pattuito e subito dopo corrisposto, per cui $u = x$, dove u indica il momento di negoziazione e x il momento in cui avviene il pagamento della somma. Il prezzo pattuito viene definito prezzo a pronti o prezzo *spot*.

Il tempo sarà rappresentato da una variabile discreta t , con $t = 0, 1, 2, 3, \dots, n$. Possiamo così mostrare il funzionamento di una operazione a pronti su uno scadenziario, sul quale sarà riportato il prezzo a pronti e i vari periodi.



Schema 2.2 – Operazione a pronti

Quindi, $v(t, t+1)$ indicherà il prezzo da pagare al momento t per ricevere 1€ in $t+1$, in una prospettiva *spot* al tempo t (ossia assumendo di trovarsi effettivamente al tempo t e non al tempo 0 , nel qual caso si dovrebbe parlare di un prezzo *forward*).

Ovviamente, esisteranno svariati contratti a pronti in t , dunque avremo anche: $v(t, t+2)$, ... $v(t, t+k)$, ..., $v(t, t+n)$.

Non sempre, tuttavia, il periodo di negoziazione coincide con quello di effettivo pagamento della somma. In tal caso, la fase di determinazione del prezzo e di pagamento dello stesso saranno distinte. A questo punto, possiamo introdurre e delineare la seconda tipologia contrattuale che caratterizza le negoziazioni sui mercati finanziari, i contratti a termine o *forward*. Nel contratto a termine, definiamo $v(u, x, y)$ come il prezzo negoziato in u e pagato in x per ricevere 1€ in y . Si noti che, qualora u ed x coincidano, si ottiene la fattispecie $v(u, x, y) = v(x, y)$, ossia il prezzo a termine coincide con il prezzo a pronti o *spot*.

Ancora, un caso singolare è quello in cui $x = y$. In tal caso avremo $v(u, y, y) = v(u, x, x) = 1$ in quanto se la durata dell'operazione finanziaria è 0, osserviamo che il prezzo per ottenere un importo unitario coincide con l'importo stesso. Di conseguenza, al diminuire di $y-x$, e dunque all'avvicinarsi alla scadenza, il prezzo per il valore unitario esigibile in y aumenta.

Possiamo formalizzare quanto detto come segue. Definiamo due periodi intermedi x_1 e x_2 entrambi maggiori di u , tali che $x_1 \leq x_2$, e $x_2 \leq y$. Possiamo affermare che $v(u, x_1, y) \leq v(u, x_2, y)$.

Uguualmente, possiamo affermare che, date due scadenze y_1 e y_2 tali che $y_1 \leq y_2$,

$$v(u, x, y_1) \geq v(u, x, y_2).$$

Anche in questo caso, definiamo la variabile discreta $t = 0, 1, 2, 3, \dots, n$ per indicare il tempo. Useremo inoltre due variabili, k e q , per semplificare la distinzione fra i diversi periodi. L'operazione a termine può essere rappresentata come segue:

u	x	y
u = t	$x = t+k$; con $k = 1, 2, \dots, n$	$y = x+1$
Negoziazione del prezzo che verrà corrisposto in x	Pagamento del prezzo: $-v(t, t+k, [t+k]+q)$; con $q = 1, 2, \dots, n$	Ricevimento della somma: $+1\text{€}$

Schema 2.3 – Operazione a termine

2.2.2. Struttura dei tassi a pronti e a termine – la curva dei rendimenti

Il passaggio logico dal mercato a pronti al mercato a termine richiede la considerazione dei flussi informativi. Infatti, attraverso le informazioni a disposizione, gli operatori formulano previsioni e agiscono di conseguenza, con un impatto sulla determinazione dei prezzi futuri. Allo stesso modo, queste aspettative si riflettono sui tassi di interesse attesi. In particolare, la Teoria delle Aspettative prevede proprio che i tassi di interesse, nel lungo periodo, dovrebbero riflettere i tassi attesi nel breve periodo (Hull, 2015). La struttura a termine dei tassi sintetizza proprio queste aspettative. Attraverso lo studio della stessa è possibile isolare la componente di puro interesse che incide sul differenziale tra prezzo *spot* e *forward*. Tale struttura viene rappresentata graficamente dalla curva dei rendimenti (*yield curve*), che consente di trarre

conclusioni sull'andamento del mercato, vale a dire su cosa gli operatori si aspettano in un istante generico t dell'andamento del mercato (Crenca et al., 2018).

Prima di tutto, è necessario fare chiarezza sulla distinzione tra tassi di interesse a pronti e tassi di interesse a termine: come è intuibile, i primi fanno riferimento ai contratti a pronti (*spot*), mentre i secondi sono collegati ai contratti a termine (*forward*). Utilizzando la capitalizzazione composta, possiamo esprimere formalmente la relazione tra tassi e prezzi, tenendo in considerazione il valore fondamentale che assume il tempo da un punto di vista finanziario, elemento chiave nella determinazione dei prezzi a termine.

Definiamo $v(0, t)$ come il prezzo a pronti da pagare in 0 per ricevere 1€ in t . Quindi, la somma che pagheremo oggi, tra un anno varrà 1€. Per il principio del valore finanziario del tempo, il prezzo pagato oggi sarà necessariamente inferiore al valore nominale che si riceverà a scadenza, ovvero $v(0, t) < 1€$, poiché chi anticipa il capitale richiede una remunerazione sotto forma di interesse. Tale remunerazione si esprime attraverso $i(0, t)$, vale a dire l'interesse, riferito all'unità di periodo, ottenuto da chi acquista, al tempo 0, un titolo di valore nominale unitario con scadenza t , pagando un prezzo pari a $v(0, t)$ (Crenca, 2018). Possiamo formalizzare quanto affermato come segue:

$$v(0, t) = [1 + i(0, t)]^{-t}$$

La successione dei tassi $i(0, t)$ prende il nome di struttura dei tassi per scadenza. Il concetto sottostante la stessa è che il tasso *spot* $i(0, t)$ può essere concepito come la sintesi di una sequenza di tassi *forward* variabili²:

$$[1 + i(0, t)]^t = [1 + i(0, 1)]^{(1-0)} \cdot [1 + i(1, 2)]^{(2-1)} \cdot [1 + i(2, 3)]^{(3-2)} \cdot \dots \cdot [1 + i(t-1, t)]^{(t-t+1)}$$

Di conseguenza:

$$1 + i(0, t) = \sqrt[t]{\prod_{s=0}^{t-1} [1 + i(s, s + 1)]}$$

da cui si ricava:

² Si ritiene opportuno precisare che, all'interno della sequenza dei tassi, il primo $i(0, 1)$ rappresenta un tasso *spot*, al contrario di tutti gli altri che sono tassi *forward*.

$$v(0,t) = \frac{1}{[1+i(0,t)]^t} = \frac{1}{\sqrt[t]{\prod_{s=0}^{t-1} [1+i(s,s+1)]}} \quad (2.1)$$

La rappresentazione grafica della struttura dei tassi per scadenza è nota come curva dei rendimenti (*yield curve*). Essa mostra la relazione che intercorre tra tassi di interesse e scadenze.

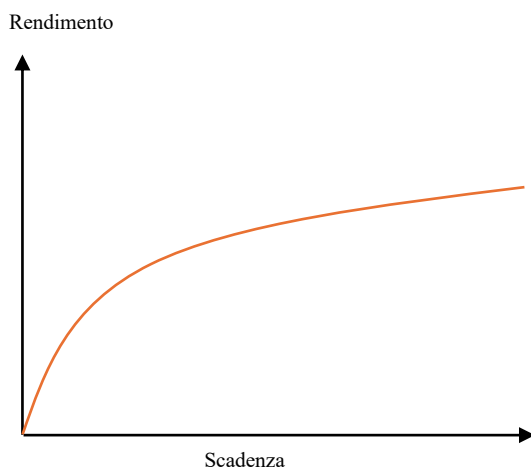


Grafico 2.1 – Curva dei rendimenti (*yield curve*)

Occorre infine precisare che tale rappresentazione è puramente teorica. Infatti, nella realtà, la posizione e la forma della curva dei rendimenti non sono statiche, ma riflettono le dinamiche di variabili macroeconomiche, quali le decisioni di politica monetaria, le aspettative di mercato da parte degli operatori e gli *shock* geopolitici, e dunque la *yield curve* può avere forme diverse da quella rappresentata nel Grafico 2.1.

In conclusione, la comprensione della struttura a termine dei tassi di interesse e della curva dei rendimenti non costituisce solo un approfondimento teorico, ma rappresenta il presupposto per le analisi che seguiranno.

La determinazione del valore finanziario del tempo, infatti, è la condizione necessaria per poter applicare correttamente la legge del prezzo unico e la condizione di non arbitraggio.

2.2.3. La Legge del Prezzo Unico e la condizione di non arbitraggio

La legge del prezzo unico afferma che un bene identico dovrebbe essere venduto allo stesso prezzo in tutti i mercati, al netto di costi di trasporto e tariffe. Nei mercati finanziari, asserisce

che uno strumento finanziario identico dovrebbe essere venduto allo stesso prezzo in tutti i mercati, al netto delle “frizioni di mercato”, ossia tutti quegli ostacoli – quali costi di transazione, asimmetrie informative e vincoli regolatori – che impediscono la libera circolazione di capitali e strumenti finanziari. La legge trova fondamento nel fatto che gli arbitraggisti sfrutteranno le differenze di prezzo acquistando/vendendo lo strumento a un prezzo più basso/alto in un mercato e vendendolo/acquistandolo a un prezzo più alto/più basso in un altro mercato, fino a quando i prezzi non saranno uguali. Le assunzioni fondanti di tale legge sono le seguenti:

- mercati efficienti: gli arbitraggisti devono essere in grado di accedere facilmente alle informazioni sui prezzi e i costi di transazione devono essere contenuti;
- prodotti identici: nel mercato finanziario, due strumenti finanziari si considerano identici quando garantiscono gli stessi flussi di cassa futuri, nelle stesse date e con lo stesso profilo di rischio;
- assenza di barriere al commercio: non devono esserci restrizioni o costi significativi che impediscano il flusso di beni tra i mercati.

È opportuno sottolineare che la legge del prezzo unico assume una connotazione temporale.

Infatti, l'identità dello strumento finanziario non è definita solo dalle sue caratteristiche contrattuali, ma anche dal momento in cui esso è reso disponibile. A tal proposito, la legge può essere integrata con la condizione di non arbitraggio per comprenderne meglio il significato. Tale principio può essere illustrato in due modi, che ne mettono in risalto rispettivamente l'aspetto di mercato (prezzo *spot* e *future*) e quello strutturale.

Per quanto riguarda il primo metodo, consideriamo il prezzo *future* di un'attività sottostante $F_{t,T}$, dove t rappresenta il momento corrente ($t = 0, 1, 2, \dots, n$) e T la scadenza. Definiamo poi il prezzo spot del sottostante come S_t . La condizione di non arbitraggio stabilisce che:

$$F_{t,T} = S_t \cdot (1+i)^{(T-t)} \quad (2.2)$$

In questo caso, i rappresenta il tasso di rendimento privo di rischio.

Se vogliamo riscrivere la formula utilizzando la capitalizzazione continua piuttosto che quella composta, otteniamo:

$$F_{t,T} = S_t \cdot e^{r(T-t)} \quad (2.3)$$

In questo caso, r rappresenta il tasso di interesse continuo, o forza di interesse.

Una seconda modalità per esprimere la condizione di non arbitraggio è mediante l'utilizzo della proprietà di scindibilità di una legge di capitalizzazione finanziaria. Una legge di capitalizzazione finanziaria si definisce “scindibile” se il montante di un euro, investito in zero, all'epoca $t+s$ può essere calcolato facendo il prodotto del montante fino all'epoca t ed il montante dal periodo t a s (Crenca et al., 2018). Indicando con m il montante, possiamo esprimere quanto detto finora come segue: $m(t+s) = m(t) \cdot m(s)$.

Definiamo un periodo intermedio t , la scadenza T ed il momento in cui il prezzo viene pattuito u , con $u < t < T$. La condizione di non arbitraggio impone:

$$v(u, T) = v(u, t) \cdot v(u, t, T) \quad (2.4)$$

Dunque, il prezzo che pago oggi per un titolo che dà diritto a ricevere 1€ al tempo T , è uguale al prodotto tra:

- il prezzo di un titolo che pago al tempo u per ottenere 1€ in t ;
- il prezzo di un titolo negoziato in u , pagato in t per ottenere 1€ al tempo T .

Mediante tale formulazione si indica proprio la condizione di non arbitraggio. Per ottenere 1€ in T si può procedere in due modi equivalenti: acquistare al tempo u , al prezzo $v(u, T)$, il titolo che dà diritto a 1€ in T ; oppure acquistare in u una quantità $v(u, t, T)$ di titoli che danno diritto a 1€ in t , spendendo una somma pari a $v(u, t) \cdot v(u, t, T)$, così da disporre in t esattamente dell'importo $v(u, t, T)$ richiesto dal contratto a termine per ricevere 1€ in T .

2.2.4. Il *Cost of Carry* ed il *convenience yield: Theory of Storage* (la Teoria dello Stoccaggio)

Le formule (2.2) e (2.3) riportate precedentemente sono valide da un punto di vista teorico, in un contesto puramente finanziario, dal momento che l'oggetto delle transazioni è

rappresentato da un titolo che garantisce il diritto a una somma certa a scadenza. Tuttavia, non tengono in considerazione elementi piuttosto significativi, che possono influenzare notevolmente la valutazione di titoli derivati su merci fisiche (nel nostro caso, il petrolio).

A differenza di un titolo finanziario, il cui valore dipende dal valore temporale del denaro, una merce fisica comporta vantaggi e oneri legati al suo possesso effettivo. Questa differente logica di prezzo deve essere recepita dal modello.

Preliminarmente, è fondamentale distinguere la posizione del detentore del sottostante fisico da quella dell'investitore in strumenti derivati. Quest'ultimo infatti è esente dai costi diretti di stoccaggio e assicurazione; tuttavia, ne sostiene l'onere finanziario in via indiretta: il prezzo del contratto *future*, infatti, incorpora tali costi in un meccanismo di non-arbitraggio (gli arbitraggisti sfrutteranno le opportunità di arbitraggio portando ad un riallineamento dei prezzi), trasferendo l'onere dal detentore fisico all'acquirente del derivato.

Tali costi di mantenimento rientrano nella categoria del *Cost of Carry*. Dunque, oltre al prezzo spot, per poter esprimere in modo esaustivo la relazione che intercorre con il prezzo del contratto *future* è necessario includere il valore attuale di tali costi, che indicheremo con U (Hull, 2015). Possiamo riscrivere la formula (2.3) come segue, adattandola ai *future* su *commodities*:

$$F_{t,T} = (S_t + U) \cdot e^{r(T-t)} \quad (2.5)$$

A questo punto, l'incidenza dei suddetti costi sul prezzo del contratto *future* può essere rappresentata, anziché come valore monetario U , come una componente di rendimento continuo u , che si somma al tasso r . Tali costi gravano su coloro che detengono l'*asset* sottostante il contratto derivato e, pertanto, sono tenuti in considerazione dal prezzo del contratto *future*. Trattando l'influenza di questa componente come un incremento del tasso di crescita del prezzo a termine, otteniamo:

$$F_{t,T} = S_t \cdot e^{(r+u)(T-t)} \quad (2.6)$$

In questo caso, dunque, u rappresenta il rapporto tra i costi di stoccaggio annuali e il prezzo *spot* (Hull, 2015), al netto di eventuali rendimenti provenienti dal sottostante; u è pertanto un

tasso continuo, omogeneo al tasso privo di rischio r , al quale si somma nell'esponente della formula (2.6).

Oltre ai costi di stoccaggio appena descritti, è opportuno considerare un ulteriore aspetto della detenzione fisica di un bene: il potenziale beneficio economico legato al suo possesso. Tale beneficio non è universale né necessariamente presente: la sua entità dipende da molteplici fattori, quali il contesto di mercato e la tipologia del bene sottostante. Numerosi *asset*, e in particolare le *commodities*, presentano costi di mantenimento significativi; tuttavia, la loro detenzione può permettere al contempo un utilizzo proficuo del bene stesso e un conseguente beneficio. A titolo esemplificativo, il petrolio greggio comporta svariati costi per lo stoccaggio. Al contempo, una raffineria potrebbe preferire detenerlo fisicamente piuttosto che acquistare un contratto *future* sul petrolio greggio, qualora ciò consenta di utilizzare il petrolio proficuamente nel processo di raffinazione. Dunque, i benefici che il detentore del sottostante può conseguire disponendo fisicamente del bene, ove presenti, sono valutati attraverso un tasso y , detto *convenience yield*. Seguendo l'impostazione di Hull, 2015, il *convenience yield* può essere inserito nella formula (2.6) come segue:

$$F_{t,T} \cdot e^{y(T-t)} = S_t \cdot e^{(r+u)(T-t)}$$

Si ottiene una nuova espressione del prezzo di un *future* sottoscritto in t con scadenza T :

$$F_{t,T} = S_t \cdot e^{(r+u-y)(T-t)} \quad (2.7)$$

Quindi, il *net cost of carry* di una *commodity* sarà rappresentato dall'esponente $(r+u-y)$, ottenuto come somma algebrica di tre tassi istantanei: il tasso privo di rischio r , il tasso u relativo ai costi di mantenimento e il tasso y di *convenience yield*. Il risultato sarà il tasso istantaneo di mantenimento del bene al netto dei benefici derivanti dalla detenzione fisica dello stesso, ossia del *convenience yield*.

Per generalizzare la formula (2.7) possiamo seguire la formalizzazione proposta dallo stesso autore. Definendo il *cost of carry* (c) come il tasso che sintetizza il costo complessivo di detenzione dell'*asset*, pari alla somma del tasso privo di rischio r e del tasso u relativo ai costi di mantenimento, distingueremo due tipologie di prezzi sui contratti *futures*: per i beni di investimento, il prezzo è

$$F_{t,T} = S_t \cdot e^{c(T-t)} \quad (2.8)$$

per un bene di consumo

$$F_{t,T} = S_t \cdot e^{(c-y)(T-t)} \quad \text{con } c = r+u \quad (2.9)$$

La formula (2.8) vale, come già detto, per i beni di investimento, nel qual caso il *convenience yield* è nullo, dal momento che la mera detenzione del titolo non apporta alcun beneficio. Invece, la formula (2.9) interessa i beni di consumo quali, ad esempio, il petrolio. In questo caso la disponibilità fisica del bene potrebbe procurare un beneficio per il detentore, misurato dal *convenience yield*.

Quanto detto nel corso di questo paragrafo è reso possibile dalla *Theory of Storage* (Kaldor (1939), Working (1949), Brennan (1958) e Telser (1958)), come richiamato da Ederington et al., 2021. La suddetta teoria pone in relazione il *basis* (vale a dire la differenza tra prezzo *spot* e prezzo del *future*) e le scorte del bene sottostante il titolo derivato stesso. È importante specificare che le scorte non coincidono con l’offerta. Un crollo improvviso dell’offerta non comporta un contemporaneo rialzo dei prezzi, se ci sono scorte sufficienti. Dunque, mentre l’offerta è un “flusso”, dal momento che circola liberamente tra vari soggetti, le scorte sono uno “*stock*”, vale a dire che non sono ancora state consumate o scambiate, ma sono pronte per l’utilizzo.

Il livello di scorte, secondo la teoria, influenza anche la *convenience yield* e il *cost of carry* (che ricordiamo essere composto dal tasso di interesse istantaneo privo di rischio (r) e dal tasso istantaneo dei costi di stoccaggio (u)). Seguendo l’impostazione di Ederington et al., 2021, possiamo formalizzare quanto detto partendo dalla formula (2.8):

$$F_{t,T} = S_t \cdot e^{(c-y)(T-t)} \Rightarrow S_t - F_{t,T} = S_t - S_t \cdot e^{(c-y)(T-t)} \Rightarrow S_t(1 - e^{(c-y)(T-t)}) \quad (2.10)$$

La formula (2.10) può essere espressa in modo semplificato, sviluppando l’esponenziale in serie di Taylor e arrestandosi al primo ordine. Tale approssimazione è lecita per $(c-y)(T-t)$ sufficientemente piccolo. Si ottiene:

$$S_t - F_{t,T} \approx S_t[1 - 1 - ((c-y)(T-t))] \approx S_t(-(c-y)(T-t))$$

Dividendo entrambi i membri per $S_t(T-t)$ otteniamo:

$$\frac{S_t - F_{t,T}}{S_t(T-t)} \approx y - c = y - (r + u)$$

Dati questi presupposti, si possono individuare due fattispecie:

- *basis* > 0: allora $S_t > F_{t,T}$ e $y > c$. Ciò significa che il beneficio della disponibilità immediata supera i costi di mantenimento. Di conseguenza, le scorte saranno ridotte mentre la domanda per la disponibilità immediata del bene sarà elevata, il che motiva un prezzo *spot* più elevato di quello *future*. Il mercato si definisce “in *backwardation*”;
- *basis* < 0: situazione opposta a quella appena vista. Qui, $F_{t,T} > S_t$ e $c > y$. I costi di mantenimento e stoccaggio sono superiori rispetto ai benefici provenienti dalla detenzione fisica del bene. Di conseguenza, l’assenza di incentivi a disporre immediatamente del bene favorisce l’accumulo di scorte, compensando ampiamente la domanda. Come risultato, si avrà un prezzo *spot* nettamente inferiore a quello *future*. In queste circostanze il mercato si troverà “in *contango*”.

2.3. Strategie di arbitraggio: *C&C* e *Reverse C&C arbitrage*

Adesso è possibile vedere come effettivamente viene attuato l’arbitraggio e quali condizioni sono necessarie affinché quest’ultimo possa essere posto in essere. Abbiamo già osservato che la condizione di non arbitraggio impone quanto segue: $F_{t,T} = S_t \cdot e^{r(T-t)}$. Questo significa che, in assenza di arbitraggio, il prezzo *future* deve eguagliare il prezzo *spot* capitalizzato. Successivamente si è precisato che è necessario integrare il *Cost of Carry*, ottenendo così la formula (2.9), che identifica la condizione di non arbitraggio per un generico bene di consumo. Dal momento che l’analisi si concentra sul petrolio, dunque una *commodity*, questa è preferibile rispetto alla formula (2.8), la quale non tiene in considerazione il *convenience yield*.

Se la condizione di non arbitraggio, basata sulla legge del prezzo unico, non è verificata, ossia se:

$$F_{t,T} \neq S_t \cdot e^{(c-y)(T-t)}$$

due sono gli scenari possibili, i quali portano a due strategie differenti di arbitraggio.

Il Cash and Carry arbitrage

Il *cash and carry arbitrage* è una strategia di arbitraggio che consente di trarre un profitto privo di rischio sfruttando un disallineamento tra il prezzo di mercato del future e il suo *fair value* di non arbitraggio. Il nome della strategia fa riferimento alle due operazioni che la compongono: l'acquisto a pronti dell'attività sottostante (*cash*) e il suo mantenimento in portafoglio fino alla scadenza (*carry*).

La strategia si adopera nel momento in cui $F_{t,T} > S_t \cdot e^{(c-y)(T-t)}$: in questa situazione il *basis* è negativo ed il mercato è in *contango*. A scadenza, i due prezzi saranno riequilibrati dagli arbitraggisti stessi. Come già anticipato, si effettuano due operazioni distinte: da un lato si assume una posizione *short* nel mercato *future*, impegnandosi a vendere l'*asset* al prezzo $F_{t,T}$. Simultaneamente, viene mantenuta una posizione *long* sul mercato *spot* acquistando l'*asset* reale al prezzo S_t . Ne consegue un accumulo di costi di stoccaggio e oneri finanziari, al netto del *convenience yield*, che – espresso in termini monetari alla scadenza T – è pari a: $SC_{t,T} = S_t \cdot [(e^{(c-y)(T-t)}) - 1]$, ottenuta adattando la formulazione di Ederington et al., 2021 alla notazione qui adottata.

Al tempo T scade il contratto *future* e l'arbitraggista consegue un profitto pari a:

$$F_{t,T} - S_t \cdot e^{(c-y)(T-t)}.$$

L'operazione di arbitraggio ha ripercussioni sul mercato, spostando i flussi di offerta nel tempo. Al tempo t si osserva una marcata riduzione dell'offerta dell'*asset*, dovuta al massiccio acquisto dei beni da stoccare, portando ad un aumento del prezzo *spot* S_t . Successivamente, alla scadenza T , l'immissione sul mercato del bene precedentemente accantonato aumenta l'offerta fisica, esercitando una pressione ribassista che riduce S_T , favorendo la convergenza del prezzo *Spot* verso il prezzo *Future*.

Uno dei casi più significativi nonché recenti di *contango* è rappresentato dal *super-contango* del 2020, con particolare riferimento al 20 aprile 2020, quando il prezzo dei contratti *futures* WTI con scadenza a Maggio 2020 (CLK20) divenne negativo, con un minimo di -37,63 USD

al barile. In questo contesto, divenne impossibile attuare la strategia di *C&C arbitrage* poiché i costi di stoccaggio (u) erano divenuti eccessivamente elevati (Fernandez-Perez et al., 2022).

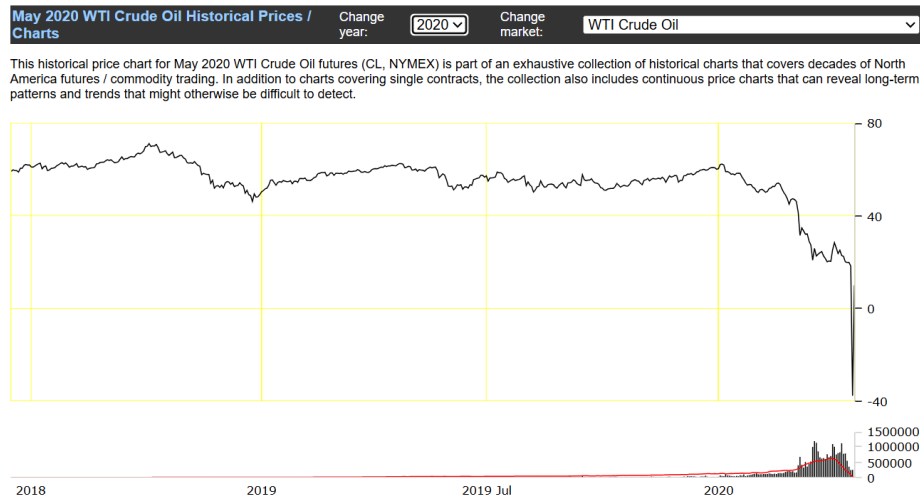


Grafico 2.2 – Andamento del prezzo dei contratti futures WTI con scadenza a maggio 2020 (CLK20).
Fonte: NYMEX, 2020³

Il Reverse Cash and Carry arbitrage

Il *reverse cash and carry arbitrage* rappresenta una strategia speculare a quella appena spiegata. Di conseguenza, le due operazioni in questione saranno speculari a quelle del *cash and carry arbitrage*, ossia la vendita a pronti e l'acquisto a termine.

La strategia è applicabile quando $F_{t,T} < S_t \cdot e^{(c-y)(T-t)}$. Il *basis* è positivo e il mercato si trova in una situazione di *backwardation*.

Dunque, l'arbitraggista vende l'*asset* allo scoperto (posizione *short*) sul mercato spot, ottenendolo tramite prestito, al prezzo S_t , e reinvestendo la somma in attività prive di rischio per il saldo del debito alla scadenza. Simultaneamente acquista un contratto *future* (posizione *long*) con il quale si impegnerà al riacquisto del bene, al prezzo F_T , per restituirlo al proprietario originario. Presupposto fondamentale per la suddetta strategia è che il costo del prestito dell'*asset* sia inferiore ai benefici che deriverebbero dalla detenzione dell'*asset* stesso (ossia il *convenience yield*). Inoltre, è necessario tenere in considerazione che chi presta

³ Grafico prodotto da futures.trading.com su dati ufficiali NYMEX.

l'*asset* richiederà il pagamento di una commissione (McDonald, 2013). Dati questi presupposti, possiamo concludere che l'arbitraggista conseguirà un profitto pari a $S_t \cdot e^{(c-y)(T-t)} - (F_{t,T} + \ell)$, dove ℓ indica il costo del prestito (*stock lending fee*).

Gli effetti dell'operazione di arbitraggio sul mercato sono simmetrici a quelli prodotti dall'operazione di *cash and carry*: in t , con la vendita dell'*asset*, vi sarà un incremento dell'offerta, con conseguente riduzione del prezzo spot S_t ; a scadenza (T), invece, il riacquisto del bene stabilito dal contratto *future* fa aumentare la domanda, spingendo al rialzo il prezzo spot S_T e contribuendo al riallineamento delle curve dei prezzi.

Per chiarire la dinamica dei flussi finanziari e l'effettiva convenienza economica di tali operazioni, si riporta di seguito un caso esemplificativo per entrambe le strategie. Si specifica che la tabella riportata nei due esempi segue l'impostazione di Geman, 2005, inoltre si ispira ad AnalystPrep, 2026. Tuttavia, mentre tali fonti utilizzano la tabella per dimostrare la condizione di non arbitraggio, in questa sede lo schema è stato adattato ad una situazione di arbitraggio, rispettivamente, *cash and carry* e *reverse cash and carry*. Per quanto riguarda l'esempio numerico, i dati sono elaborazione dell'autore.

Esempio 1 – Cash and Carry arbitrage

Consideriamo il West Texas Intermediate (WTI) come *asset* di riferimento. Il prezzo spot è 70,00\$ al barile, il tasso di interesse 2% annuo e i tassi relativi ai costi di stoccaggio pari al 3% annuo. Inoltre, poniamo che il *convenience yield* sia uguale all'1% annuo; quest'ultimo assume un valore minimo proprio perché, in situazioni di *contango*, le scorte sono elevate e la detenzione fisica del bene è piuttosto svantaggiosa in termini di benefici rispetto ai costi di mantenimento. Il contratto *future* è stabilito a 6 mesi ($T-t = 0,5$).

Possiamo riassumere i dati come segue:

$$S_t = 70\$ \qquad r = 0,02 \qquad u = 0,03 \qquad y = 0,01$$

Il prezzo teorico è: $F_{t,T} = S_t \cdot e^{(r+u-y)(T-t)} = 70 \cdot e^{(0,02+0,03-0,01)0,05} \approx 72,8567$

Il mercato quota un *future* a 73,00\$, dunque è in *contango*. L'arbitraggista tenterà di sfruttare la sopravvalutazione momentanea del *future* mediante una operazione di arbitraggio *Cash and Carry*.

Tipo di operazione	t	T
Debito per acquisto dell'asset	$+S_t = +70$	Rimborso: $-S_t \cdot e^{r(T-t)} = -70 \cdot e^{0,02 \cdot 0,5} \approx -70,70$
Acquisto dell'asset fisico (long)	$-S_t = -70$	
Pagamento costi di stoccaggio		$-S_t \cdot (e^{u(T-t)} - 1) = -70 \cdot (e^{0,03 \cdot 0,5} - 1) \approx -1,058$
Vendita del future (short)		$+F_{t,T} \Rightarrow +73$
Convenience yield		$+S_t \cdot (e^{y(T-t)} - 1) = +70 \cdot (e^{0,01 \cdot 0,5} - 1) \approx +0,35$
Totale	$+70 - 70 = 0$	$\text{Profitto} = F_{t,T} - S_t \cdot e^{(c-y)(T-t)}$ $= +73 + 0,35 - 70,7 - 1,058 = +1,59$

Schema 2.4 – Operazione di arbitraggio *Cash and Carry*

Esempio 2 – Reverse Cash and Carry

Basandoci sui dati dell'esempio precedente, consideriamo un prezzo *future* effettivo inferiore a quello teorico ed un *convenience yield* nettamente superiore a quello utilizzato per l'esempio precedente. In particolare, considereremo un *convenience yield* pari al 7% annuo. Il contratto *future* è sempre stabilito a 6 mesi, per cui $T-t = 0,5$. Per quanto riguarda la *stock lending fee* (ℓ), ossia una commissione da corrispondere al proprietario originario dell'*asset* per aver prestato il bene stesso, venduto allo scoperto in t , assumeremo per semplicità $\ell = 0$.

$$S_t = 70\$ \quad r = 0,02 \quad u = 0,03 \quad y = 0,07$$

Il prezzo teorico sarà dunque: $F_{t,T} = S_t \cdot e^{(r+u-y)(T-t)} = 70 \cdot e^{(0,02+0,03-0,07)0,5} \approx 69,3$.

Supponiamo che il *future* viene quotato sul mercato a 66,00\$; si crea una situazione di *backwardation*, nella quale è estremamente conveniente la detenzione fisica del bene, dati i benefici nettamente superiori ai costi per il mantenimento del bene stesso.

L'arbitraggista, attraverso la strategia di *Reverse Cash and Carry*, cercherà di trarre un profitto sicuro da una temporanea sottovalutazione del *future*.

Tipo di operazione	t	T
--------------------	---	---

Vendita allo scoperto (short) dell'asset ottenuto in prestito	$+S_t = +70$	
Reinvestimento del ricavato dalla vendita	$-S_t = -70$	Ricavato dall'investimento: $+S_t \cdot e^{r(T-t)} = +70 \cdot e^{0,02 \cdot 0,5} \approx +70,70$
Acquisto future (long) – riacquisto dell'asset		$-F_{t,T} = -66$ – restituzione del barile
Risparmio sui costi di stoccaggio		$+S_t \cdot (e^{u(T-t)} - 1) = +70 \cdot (e^{0,03 \cdot 0,5} - 1)$ $\approx +1,06$
Perdita sulla convenience yield		$-S_t \cdot (e^{y(T-t)} - 1) = -70 \cdot (e^{0,07 \cdot 0,5} - 1)$ $\approx -2,49$
Totale	$+70 - 70 = 0$	Profitto = $S_t \cdot e^{(c-y)(T-t)} - F_{t,T}$ $= +70,70 + 1,06 - 2,49 - 66 = +3,27$

Schema 2.5 – Operazione di arbitraggio Reverse Cash and Carry

Con gli esempi proposti, possiamo concludere quanto detto all'inizio del capitolo, ossia che gli arbitraggisti si caratterizzano per la capacità di conseguire un profitto senza rischio, sfruttando disallineamenti temporali dei prezzi di uno stesso bene su diversi mercati o su diversi strumenti aventi come sottostante il medesimo *asset*.

Nel prossimo capitolo verrà esaminato un caso specifico, ossia come il conflitto tra gli Stati Uniti d'America e la Repubblica Islamica dell'Iran abbia influenzato l'andamento dei prezzi del WTI, cercando di capire le eventuali possibilità di arbitraggio.

Capitolo 3 – Analisi empirica: il petrolio WTI ed il conflitto in Medio Oriente

3.1. Introduzione ed obiettivi dell'analisi

Il presente capitolo si propone di verificare empiricamente, attraverso l'analisi di dati di mercato reali, le opportunità di arbitraggio *Cash and Carry* e *Reverse Cash and Carry* sul mercato del petrolio greggio WTI (*West Texas Intermediate*), in un contesto caratterizzato da una significativa instabilità geopolitica dovuta alla recente guerra in Medio Oriente.

Nel capitolo precedente, è stato appurato che l'esistenza di opportunità di arbitraggio si verifica quando il prezzo osservato di un contratto *future* si discosta significativamente dal suo *fair value* teorico, calcolato secondo la formula (2.9). In queste circostanze, è possibile adottare una delle due strategie menzionate per conseguire un profitto privo di rischio.

3.2. Il contesto geopolitico: la guerra tra gli Stati Uniti d'America e la Repubblica Islamica dell'Iran

Per poter comprendere appieno le dinamiche dei prezzi che saranno osservate successivamente, è necessario inquadrare il contesto geopolitico del periodo analizzato, ossia la guerra che di recente ha interessato gli Stati Uniti d'America e la Repubblica Islamica dell'Iran.

Il Medio Oriente rappresenta da sempre un territorio strategico, principalmente a causa dell'abbondanza di due risorse essenziali: il gas naturale ed il petrolio, che hanno da sempre comportato numerose ingerenze esterne da parte di Stati quali Stati Uniti d'America, Russia ed Europa.

In particolare, un'area di interesse è costituita dallo Stretto di Hormuz, un braccio di mare che separa la Repubblica Islamica dell'Iran, a nord, dal Sultanato dell'Oman, a sud. È uno dei punti di maggiore rilevanza strategica, dal momento che attraverso lo stesso avviene il passaggio del 20% del commercio mondiale di petrolio e di gas naturale, rappresentando una delle fonti principali di approvvigionamento di prodotti energetici per l'Europa e, in generale, un punto di riferimento per gran parte dei Paesi, inclusi gli Stati Uniti d'America.

Questi ultimi, in particolare, sono stati protagonisti di svariati episodi che hanno coinvolto la Repubblica Islamica dell'Iran. Le tensioni iniziarono con la Rivoluzione Islamica del 1979, che rovesciò il governo filo-americano dello Scià Mohammad Reza Pahlavi, instaurando la Repubblica Islamica guidata dall'Ayatollah Khomeini. Da quel momento, le relazioni diplomatiche tra i due paesi furono interrotte e mai formalmente ripristinate, dando avvio ad un conflitto latente che si è manifestato nel corso dei decenni attraverso sanzioni economiche e operazioni militari indirette. Un elemento di particolare rilevanza è rappresentato dalle sanzioni economiche imposte dagli Stati Uniti d'America alla Repubblica Islamica dell'Iran ed intensificatesi a partire dal 2018, quando il Presidente americano Donald Trump si ritirò dall'accordo, sancito nel 2015, volto a limitare l'arricchimento di uranio da parte della Repubblica Islamica dell'Iran. Tali sanzioni, mirate a ridurre le esportazioni petrolifere iraniane, hanno contribuito a comprimere l'offerta globale di greggio, influenzando strutturalmente i prezzi del mercato petrolifero internazionale al rialzo (Corriere della Sera, 2026).

Infine, la “guerra dei 12 giorni” rappresenta l'evento più recente che ha visto coinvolti gli Stati Uniti d'America e lo Stato di Israele, da un lato, e la Repubblica Islamica dell'Iran dall'altro. Si tratta di un breve conflitto, durato dal 13 giugno 2025 al 25 giugno 2025, che è iniziato con i bombardamenti israeliani sul territorio iraniano. Questa prima offensiva israeliana ha posto fine ai negoziati, che si stavano tenendo in Oman durante quei giorni, riguardo l'utilizzo del nucleare da parte della Repubblica Islamica dell'Iran. Da allora, Teheran ha rivendicato di aver ricostituito le proprie scorte militari, minacciando di utilizzarle in caso di ulteriori minacce (Corriere della Sera, 2026).

Nel periodo oggetto di analisi – settembre 2025-aprile 2026 – è stata registrata una significativa *escalation* delle tensioni, con alcuni eventi preminenti che hanno determinato un sostanziale rialzo dei prezzi del WTI, primo tra tutti l'avvio dell'operazione Epic Fury, iniziata il 28 febbraio 2026. Quest'ultima è stata costituita da una sequenza di attacchi a siti strategici iraniani, culminando con la morte di Khamenei, la Guida Suprema della Repubblica Islamica dell'Iran per quasi 40 anni.

3.3. Dataset e metodologia

L'analisi si concentra su un periodo di 7 mesi, precisamente dal 22 settembre 2025 al 20 aprile 2026, al fine di poter cogliere al meglio gli effetti della guerra sui prezzi del petrolio. Il prodotto analizzato è il WTI (*West Texas Intermediate*), una tipologia di petrolio greggio prodotto principalmente negli Stati Uniti d'America, punto di riferimento per le quotazioni del petrolio sul mercato internazionale. Dello stesso, si osservano il prezzo a pronti (*spot*) ed il prezzo del relativo contratto *future* a chiusura della giornata di mercato.

- Il prezzo a pronti è stato usato per il calcolo del *fair value* del contratto *future*, mediante l'applicazione della formula (2.9) semplificata, dal momento che non saranno presenti i costi di stoccaggio. I dati sono stati estratti dalla serie DCOILWTICO (*Crude Oil Prices: West Texas Intermediate - Cushing, Oklahoma*), accessibile tramite il Federal Reserve Economic Data (FRED, 2026);
- con riferimento ai contratti, è stato considerato che, sulle classiche piattaforme di investimento, vengono mostrati i prezzi relativi al contratto *future* corrente (i.e. il CLK26, vale a dire il contratto con scadenza a maggio 2026) e a quelli con scadenza successiva. Tuttavia, ai fini dell'analisi, si è ritenuto necessario riportare i prezzi dei contratti con scadenze precedenti, al fine di garantire una serie storica continua. I dati dei relativi contratti sono stati reperiti tramite il sito Barchart (Barchart, 2026). Si tratta di contratti quotati al New York Mercantile Exchange (NYMEX) con ticker CL;
- infine, per il tasso di interesse privo di rischio, i dati utilizzati sono quelli relativi al rendimento dei Treasury Bills statunitensi a tre mesi, estratti dalla serie DTB3 (*3-Month Treasury Bill: Secondary Market Rate*) del Federal Reserve Economic Data (FRED, 2026).

3.3.1. Il *rollover* dei contratti *future*

Per poter ottenere continuità nei dati è stata applicata una procedura di *rollover*. Quest'ultima è tipicamente adottata dagli investitori al fine di evitare la consegna fisica del sottostante alla scadenza, assumendo una posizione equivalente su un contratto con scadenza successiva. A titolo esemplificativo, si consideri un investitore che assume una posizione *long* sul petrolio greggio, prevedendo che salirà nei prossimi mesi. Di certo, l'opzione più vantaggiosa non è quella di uscire dalla posizione ogni mese per poi rientrarvi, ma piuttosto estendere il periodo di detenzione del petrolio.

Dunque, l'operazione di *rollover* coinvolge due contratti aventi ad oggetto i medesimi strumenti, ma con scadenza differente. Nell'atto pratico, l'operazione si sostanzia nella chiusura della posizione sul contratto *front-month* (il più vicino alla scadenza) e nell'apertura di una posizione equivalente sul contratto con la scadenza successiva, ossia il *next-month*. È a tal proposito essenziale definire il *First Notice Day* (FND) ed il *Last Trading Day* (LTD). Il primo si riferisce all'inizio del periodo nel quale il detentore di uno strumento con sottostante può essere chiamato ad onorare la consegna fisica del sottostante stesso. Il *Last Trading Day* indica invece l'ultimo giorno di scambio del contratto. Risulta svantaggioso eseguire il *rollover* durante l'ultimo giorno di negoziazione, ciò a causa della mancanza di liquidità (ossia il volume di negoziazioni e scambi di uno strumento finanziario)⁴. L'ideale è effettuarlo nel momento in cui la liquidità si è trasferita dal *future* in scadenza al contratto con scadenza successiva.

Nella presente analisi, la metodologia adottata prevede l'utilizzo del contratto *front-month* fino a circa un mese prima della data di consegna del sottostante, precisamente il ventesimo giorno del mese, per poi procedere con il contratto successivo⁵. Si sottolinea inoltre l'eccezione per i casi in cui il ventesimo giorno sia un giorno di chiusura del mercato (fine settimana o festività), nei quali il *rollover* viene anticipato al primo giorno lavorativo disponibile.

3.3.2. Calcolo del *fair value* ed ipotesi semplificatrici

Come già accennato, per poter proseguire nell'analisi è fondamentale il calcolo del prezzo teorico dei contratti *futures* osservati, ricavato attraverso la formula (2.9), di seguito riportata:

$$F_{t,T} = S_t \cdot e^{(r-y)((T-t)/365)}$$

⁴ Si ritiene opportuno sottolineare che il *rollover* durante il *Last Trading Day* è sconsigliato, ma non necessariamente errato. Ad esempio, il *rollover* sui *futures* azionari europei viene tipicamente eseguito il giorno prima della scadenza, in quanto la liquidità passa da una scadenza a quella successiva tipicamente in quel giorno (OkForex, 2026).

⁵ Si precisa che la data del *rollover* adottata in questa sede non coincide sempre esattamente con il *Last Trading Day* del contratto, che il NYMEX Rulebook (Capitolo 200, art. 200102.F) fissa al terzo giorno lavorativo antecedente il venticinquesimo giorno solare del mese precedente la consegna. Nel periodo analizzato, l'approssimazione adottata comporta uno scostamento compreso tra zero e due giorni lavorativi rispetto alla data formale di scadenza.

dove $F_{t,T}$ rappresenta il prezzo teorico al tempo t del contratto *future* con data di consegna T , S_t il prezzo *spot* del sottostante al tempo t , r il tasso di interesse *risk-free* e y il tasso di *convenience yield*.

L'unità di tempo adottata per la rilevazione delle osservazioni è il giorno solare: come già detto, la serie storica è composta da prezzi giornalieri di chiusura del mercato. Il *time-to-maturity* è stato calcolato come il numero di giorni rimanenti alla consegna del sottostante (ossia $T-t$), diviso per 365, in modo da esprimerlo in frazione di anno e garantire coerenza con il tasso di interesse *risk-free* (r), espresso su base annua.

La data T di riferimento per il calcolo del *fair value* e del *convenience yield* implicito (quest'ultimo sarà presentato nel paragrafo successivo) è fissata al ventesimo giorno del mese nel quale è prevista la consegna fisica del sottostante. L'assegnazione di T alla data di consegna dell'*asset* anziché al *Last Trading Day* è coerente con l'impostazione teorica adottata da Geman, 2005, che, analizzando la relazione tra il prezzo *spot* ed il prezzo *future* per una *commodity*, identifica esplicitamente T con la data di consegna del sottostante. Tuttavia, questa non è l'unica ragione per cui si è deciso di adottare tale convenzione: la scelta è ulteriormente giustificata da considerazioni circa la stabilità numerica del *convenience yield*.

Stabilità numerica del convenience yield

La stabilità numerica della stima del *convenience yield* è fondamentale. Come si vedrà successivamente, la formula adottata per il calcolo del *convenience yield* presenta al denominatore il tempo residuo a scadenza ($T-t$) espresso in frazione di anno. Se T venisse identificato con il *Last Trading Day*, in prossimità della scadenza del contratto il valore di $(T-t)/365$ risulterebbe estremamente piccolo, producendo stime numericamente instabili e variazioni eccessivamente ampie del *convenience yield*. Una prima soluzione consisterebbe nell'esprimere il tempo in giorni: in tal caso, considerando T come la data di scadenza, il denominatore assumerebbe un valore minimo pari a 1 (ossia il giorno precedente alla scadenza del contratto). Tuttavia, come detto, per garantire la coerenza con il tasso di interesse *risk-free*, anche il *time to maturity* è espresso su base annua. Conseguentemente, il *convenience yield* sarà annualizzato, impostazione quest'ultima adottata anche da Flannery et al., 2012. Per tale ragione è stato adottato T come la data di consegna fisica del contratto,

garantendo un T-t sempre compreso tra circa 30 e 60 giorni durante l'intero periodo di osservazione, assicurando stime stabili e confrontabili del *convenience yield*.

Omissione dei costi di stoccaggio

La formula adottata rappresenta una versione semplificata della formula (2.9), dal momento che non include i costi di stoccaggio, essenziali per il calcolo del *Cost of Carry*, ottenuto dalla somma tra il tasso di interesse *risk-free* (r) e il tasso istantaneo dei costi di stoccaggio (u). Tale decisione è stata dettata dalla difficoltà di reperire dati aggiornati e, soprattutto, affidabili sui costi di stoccaggio del petrolio WTI. Questa tipologia di petrolio viene consegnata e stoccata a Cushing, Oklahoma, e i costi di stoccaggio sono variabili in funzione della disponibilità di capacità di stoccaggio e delle condizioni di mercato. Inoltre, Cushing non è un unico magazzino statale, ma un complesso di terminal gestiti da diverse società (CME Group, 2023) (quali *Enterprise Products* ed *Enbridge*) che affittano lo spazio a disposizione, ciascuna offrendo condizioni contrattuali differenti⁶; inoltre, tali contratti sono tra soggetti privati e, per l'effetto, difficilmente reperibili.

La determinazione dei costi di stoccaggio risulta complessa anche in letteratura, con autori che utilizzano variabili per approssimare gli stessi e altri che preferiscono ometterli. A titolo esemplificativo, Fernandez-Perez et al., 2022, utilizzano due *proxy* differenti per stimare i costi di stoccaggio: da un lato, calcolano i costi di stoccaggio come lo 0,74% del prezzo *spot*, considerandolo una stima adeguata qualora il mercato si trovi in *contango*. Dall'altro, adottano il prezzo dei contratti *futures* sullo stoccaggio del Permian Basin WTI (ossia il WTI del Bacino Permiano), quotati presso l'Intercontinental Exchange (ICE). Si tratta di un petrolio simile al WTI di Cushing che, tuttavia, segue rotte di commercio differenti, oltre ad essere stoccato presso altri stabilimenti.

Tuttavia, come già anticipato, in questa sede si è deciso di omettere i suddetti costi, seguendo Ederington et al., 2021, che trascurano i costi di stoccaggio, data la difficoltà di reperimento degli stessi nonché la bassa volatilità settimanale. Infatti, fonti dirette del principale operatore di stoccaggio a Cushing (Plains All American Pipeline) indicano che i costi variano poco

⁶ Il NYMEX Rulebook indica i 3 operatori specificamente qualificati come *delivery facilities* dei contratti *futures* WTI (NYMEX Rulebook, Capitolo 200, art. 200104). Tuttavia, Cushing costituisce un complesso di dimensioni ben più elevate, articolandosi in 16 terminal distinti (CME Group, 2023).

("storage costs do not vary much from week to week", Ederington et al., 2021, p. 1362), rendendo le variazioni dei costi di stoccaggio "*likely very closely proxy the unadjusted spread changes*" (Ederington et al., 2021, p. 1362). In sostanza, l'omissione dei costi di stoccaggio non altera significativamente la dinamica del *basis* osservato.

Determinazione del tasso risk-free

Con riguardo al costo del finanziamento per l'acquisto dell'*asset* fisico, è stato adottato il tasso di interesse dei Treasury Bills americani con scadenza a tre mesi.

La scelta è dovuta a due motivi principali: in primo luogo, i T-Bills americani rappresentano il *proxy* del tasso *risk-free* più diffuso nella letteratura finanziaria sul mercato del petrolio WTI; ne è un esempio lo studio condotto da Fernandez-Perez et al., 2022. La ragione della scelta risiede nel fatto che i T-Bills costituiscono lo strumento più prossimo al concetto teorico di attività priva di rischio, poiché combinano la garanzia della solvibilità dello Stato con un'elevatissima liquidità sul mercato secondario. Al contrario, tassi come il LIBOR (oggi sostituito dal SOFR) o i tassi sui *corporate bond* incorporano un premio per il rischio di credito della controparte, rendendoli concettualmente inappropriati come *proxy* del tasso *risk-free* nella formula di *pricing* dei contratti *futures*. In aggiunta, sono anche dati facilmente reperibili, completi ed affidabili.

In secondo luogo, il rendimento dei T-Bills nel periodo analizzato si è mantenuto in un intervallo relativamente stabile, compreso tra il 3,52% e il 3,87% annuo, con una media del 3,66% (v. Appendice). Tale stabilità riduce il rischio che variazioni del tasso *risk-free* alterino significativamente i risultati dell'analisi.

Esposte le suddette ipotesi, è stato possibile calcolare il *convenience yield*, risolvendo la formula (2.9) per y , sostituendo a $F_{t,T}$ il prezzo *future* osservato sul mercato.

$$F_{t,T} = S_t \cdot e^{(r-y)((T-t)/365)} \Rightarrow \frac{F_{t,T}}{S_t} = e^{(r-y)((T-t)/365)} \Rightarrow \ln\left(\frac{F_{t,T}}{S_t}\right) = (r-y)((T-t)/365) \Rightarrow r-y = \frac{\ln\left(\frac{F_{t,T}}{S_t}\right)}{\left(\frac{T-t}{365}\right)}$$

$$y = r - \frac{\ln\left(\frac{F_{t,T}}{S_t}\right)}{T-t} \quad (3.1)$$

Infine, la stima del *convenience yield* $\bar{y}$ medio mediante media aritmetica è stata utilizzata come approssimazione nel calcolo del *fair value*.

Come discusso da Pindyck, 2001, il *convenience yield* dipende dal livello delle scorte e dalla volatilità del mercato. In un mercato senza *shock* strutturali permanenti, le scorte tendono a gravitare attorno ad un livello normale, e la volatilità, pur variando, presenta valori medi caratteristici. Infatti, documenta l'autore, i picchi di volatilità, nel lungo periodo, possono essere poco significativi (Pindyck, 2001, p. 24). Poiché il periodo campionario (settembre 2025-aprile 2026) non presenta *shock* strutturali, il valore $\bar{y}$ rappresenta una stima ragionevole del livello di equilibrio del *convenience yield* nelle condizioni normali di mercato. Deviazioni significative da $\bar{y}$ segnalano quindi disequilibri temporanei, rispetto ai quali il *fair value*, calcolato con $\bar{y}$, costituisce un *benchmark* per identificare eventuali *mispricing*, ossia scostamenti del prezzo *future* osservato dal suo prezzo teorico.

3.4. Risultati empirici e considerazioni

Definita la metodologia di calcolo e le dovute assunzioni, è ora possibile procedere all'analisi empirica. La seguente Tabella 3.1 presenta le statistiche delle principali variabili coinvolte nello studio, calcolate su un numero complessivo di 142 osservazioni relative al periodo 22 settembre 2025-20 aprile 2026. La finalità è fornire un quadro d'insieme delle dinamiche di mercato osservate nel periodo campionario.

Variabile	Massimo	Minimo	Media	Dev. Std. σ
Prezzi osservati (USD/barile)				
Prezzo spot S_t	114,58	55,44	69,1101	15,5098
Prezzo future F_t	112,95	55,27	68,582	15,0736
Basis $F_t - S_t$	0,08359	-0,01089	0,00696	0,01179
Convenience yield e fair value				
Convenience yield y_t	0,8282	-0,0457	0,0974	0,10995
Convenience yield media $\bar{y} = 0,0974$				
Fair value F_t^{fair}	113,76	55,11	68,60	15,4081
Mispricing				
Mispricing $F_t - F_t^{\text{fair}}$	1,24	-7,15	-0,0179	0,9827

Tabella 3.1 – Statistiche delle principali variabili di mercato

Per comprendere appieno i dati riportati nella Tabella 3.1, è necessario analizzare la serie storica dei prezzi *spot* e *future* osservati. Si possono individuare tre macro-fasi geopolitiche, utili per rilevare e contestualizzare gli eventuali segnali di arbitraggio.

- Fase pre-crisi: in questo primo segmento, compreso tra il 22 settembre 2025 e il 17 gennaio 2026, i prezzi *spot* e *future* sono stabili, con variazioni contenute e, soprattutto, gradualità.
- Fase di *escalation*: in questo periodo le tensioni tra gli Stati Uniti d'America e la Repubblica Islamica dell'Iran aumentano. In particolare, il 17 gennaio 2026 quest'ultima sembrava progettare operazioni finalizzate a danneggiare basi americane, come annunciato dal Dipartimento di Stato Americano (Il Tempo, 2026). Nel corso dei mesi di gennaio e febbraio 2026 i prezzi *spot* del petrolio hanno seguito un *trend* rialzista, passando da 59,40\$ al barile, registrati ad apertura di mercato il 17 gennaio 2026, a 66,96\$ al barile il 27 febbraio 2026. Analogamente, i prezzi *future* hanno subito un incremento simile, da 59,44\$ al barile a 67,02\$ al barile (v. Appendice).
- Fase di crisi: questa fase ha inizio con l'operazione Epic Fury, condotta il 28 febbraio 2026 dagli Stati Uniti d'America e dallo Stato di Israele ai danni della Repubblica Islamica dell'Iran. Lo scoppio della guerra ha avuto ripercussioni enormi, prima tra tutte la chiusura, lo stesso 28 febbraio 2026, dello Stretto di Hormuz da parte della Repubblica Islamica dell'Iran. Come già detto in precedenza, lo Stretto rappresenta un punto rilevante per il commercio mondiale di petrolio e gas naturale. Conseguentemente, alla riapertura dei mercati di lunedì 2 marzo 2026, i prezzi del petrolio hanno subito un repentino rialzo, intensificatosi nei due mesi successivi a causa del rischio di esaurimento delle scorte, dal momento che la chiusura dello Stretto ha comportato un drastico rallentamento del commercio petrolifero globale. In particolare, partendo dai prezzi di chiusura del 27 febbraio 2026, la crescita ha raggiunto l'apice il 7 aprile 2026, giorno in cui il WTI ha chiuso la giornata di mercato ad un prezzo *spot* di 114,58\$ al barile (112,95\$ il prezzo *future*) (v. Appendice).

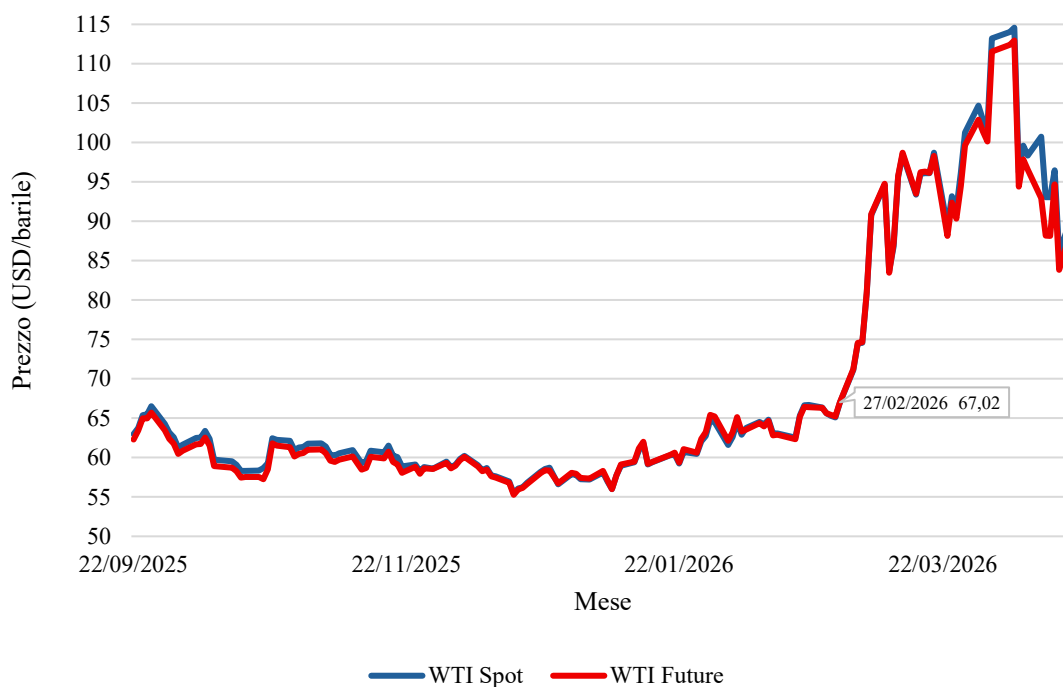


Grafico 3.1 – Andamento prezzi spot e future – Petrolio WTI

Come si può constatare dal Grafico 3.1 nonché dalla precedente Tabella 3.1, nel periodo di osservazione il *mispricing* medio è estremamente contenuto, tendente a 0, ad indicare una stabilità del mercato nel lungo periodo. L'analisi si basa proprio su tali scostamenti del prezzo *future* osservato da quello teorico, che potrebbero consentire la realizzazione di arbitraggi.

Per poter procedere all'analisi delle opportunità di arbitraggio è tuttavia opportuno definire un parametro di riferimento, denominato intervallo di significatività, finalizzato ad identificare concrete opportunità di arbitraggio laddove il *mispricing* ecceda tale soglia. Seguendo l'approccio adottato da Fanelli et al., 2026, la deviazione standard del *mispricing* è stata la variabile di riferimento utilizzata per stabilire la banda di non-arbitraggio, pari a $\pm\sigma_{\text{mispricing}}$, ossia $\pm 0,9827$. Gli autori citati adottano 1σ e 2σ . In questo caso, il valore scelto è finalizzato ad evitare di sovrastimare le opportunità di arbitraggio includendo anche scostamenti di prezzo minimi, da un lato, e ad identificare reali inefficienze commerciali che potrebbero non essere individuate da una banda troppo conservativa, dall'altro.

A questo punto, mediante un confronto tra il *mispricing* e la deviazione standard dello stesso, è stato possibile individuare un totale di 16 opportunità di arbitraggio, distribuite tra la fase di *escalation* della crisi ed il successivo periodo di guerra, riportate di seguito nelle tabelle 3.2 e 3.3.

Data	Prezzo spot	Prezzo future	Convenience yield	Fair value	Mispricing
Strategia: Cash and Carry					
28/01/2026	62,75	63,21	-0,0164	62,21	+0,9967
29/01/2026	64,77	65,42	-0,0370	64,23	+1,1932
30/01/2026	64,50	65,21	-0,0457	63,97	+1,2410
02/02/2026	61,60	62,14	-0,0333	61,13	+1,0147
03/02/2026	62,62	63,21	-0,0401	62,15	+1,0621
04/02/2026	64,56	65,14	-0,0382	64,08	+1,0559

Tabella 3.2 – Opportunità di arbitraggio durante la fase di escalation

La tabella sopra riportata mostra le opportunità di arbitraggio durante il periodo di intensificazione delle tensioni tra gli Stati Uniti d’America e la Repubblica Islamica dell’Iran. Si tratta di un momento significativo perché, per la prima volta nel periodo osservato (settembre 2025-aprile 2026), il *mispricing* assume un valore maggiore di 1. Infatti, fino a quel momento, vi erano state fluttuazioni controllate dei prezzi *spot* e *future* alle quali il mercato si era adeguato, con un massimo *mispricing* pari a 0,71\$ al barile registrato in data 29 dicembre 2025.

In questo momento, come si evince dalla tabella, il prezzo *future* è sistematicamente maggiore del suo *fair value*. Ciò significa, come visto nel Capitolo 2, che il mercato si trova in *contango* e il *basis* (i.e. la differenza tra prezzo *spot* e prezzo *future*) è costantemente negativo. Per l’effetto, gli arbitraggisti sceglieranno di eseguire operazioni di arbitraggio *cash and carry*, acquistando il petrolio al prezzo *spot* per poi rivenderlo al prezzo *future* a scadenza, ciò in virtù dell’assunzione di una posizione *short* nel contratto *future*. Il *convenience yield*⁷ assume valori coerenti con quanto detto finora. In scenari di *contango*, il *convenience yield* è ridotto: il mercato non dà troppo valore alla detenzione immediata della merce fisica. Conseguentemente, il prezzo *future* tende ad essere stabilmente più elevato del prezzo *spot*, al fine di compensare i costi di stoccaggio e gli interessi (c.d. *cost of carry*). Nel caso in questione, il *convenience yield* è addirittura negativo, lasciando che i costi di stoccaggio gravino interamente sull’operatore e configurando la detenzione del bene più come un onere che come un vantaggio commerciale immediato.

⁷ Si ricorda che il *convenience yield* è un tasso istantaneo, in questo caso espresso in forma decimale.

Data	Prezzo spot	Prezzo future	Convenience yield	Fair value	Mispricing
Strategia: Cash and Carry					
11/03/2026	86,80	87,25	-0,0111	86,22	+1,0310
Strategia: Reverse Cash and Carry					
08/04/2026	96,17	94,41	0,1966	95,49	-1,0842
09/04/2026	99,62	97,8	0,1938	98,94	-1,0655
10/04/2026	98,34	96,57	0,2017	97,68	-1,1107
13/04/2026	100,72	92,95	0,8282	100,10	-7,1473
14/04/2026	93,07	88,19	0,5823	92,51	-4,3201
15/04/2026	93,04	88,13	0,6016	92,50	-4,3658
16/04/2026	96,46	94,69	0,2350	95,91	-1,2218
17/04/2026	85,91	83,85	0,3045	85,44	-1,5853
20/04/2026	91,06	89,61	0,2315	90,60	-0,9932

Tabella 3.3 – *Opportunità di arbitraggio durante la guerra*

Nella Tabella 3.3 sono invece riportate le opportunità di arbitraggio nel periodo tra il 28 febbraio 2026 e il 20 aprile 2026, caratterizzato dalla guerra che comporta, proprio il 28 febbraio 2026, la chiusura dello Stretto di Hormuz in risposta, come già anticipato, all'operazione militare Epic Fury condotta dagli Stati Uniti d'America. Questa decisione ha un impatto significativo sul mercato petrolifero, riducendo notevolmente l'offerta mondiale di petrolio. Per l'effetto, i prezzi *spot* e *future* del petrolio subiscono un rialzo vertiginoso, passando da circa 67\$ a oltre 90\$ al barile in soli 7 giorni (v. Appendice). Singolare quanto accade l'11 marzo 2026, l'unico giorno durante questa fase critica a presentare un *convenience yield* negativo. Si tratta, apparentemente, di una anomalia; il mercato sembra attribuire poco valore alla detenzione di scorte di petrolio in un periodo in cui l'offerta è scarsa. Tale paradosso può tuttavia essere spiegato dal discorso del Segretario dell'Energia degli Stati Uniti d'America, Chris Wright, rilasciato l'11 marzo stesso. Il Segretario americano annunciava che i 32 paesi membri dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) avevano accolto la proposta del Presidente Donald Trump circa il rilascio coordinato di oltre 400 milioni di barili di petrolio, attingendo alle riserve strategiche, al fine di contenere i prezzi dell'energia. Di questi 400 milioni, 172 milioni di barili sarebbero stati forniti dal Dipartimento dell'Energia americano, previa autorizzazione del Presidente Trump (U.S.

Department of Energy, 2026). L'annuncio ha prodotto un effetto immediato: i prezzi *spot* e *future* del 10 e 11 marzo 2026 hanno subito un notevole ribasso, passando da 94,60 \$ al barile il 9 marzo a circa 83,71\$ e 86,80\$ nei due giorni successivi.

Tuttavia, nonostante i provvedimenti presi dall'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA), l'offerta di petrolio globale è rimasta significativamente compromessa, generando un eccesso di domanda e un aumento del *convenience yield* (ossia i benefici della detenzione immediata del bene), come si evince dai dati della Tabella 3.3. Conseguentemente, il prezzo *spot* è salito vertiginosamente, superando il prezzo *future*⁸. In questo scenario, speculare a quello del periodo di *escalation*, il mercato si trova in *backwardation*, il prezzo *future* è inferiore rispetto al *fair value* ed il *basis* è positivo. La strategia ottimale è, pertanto, l'arbitraggio *reverse cash and carry*, che prevede la vendita allo scoperto dell'*asset*, assumendo una posizione *short* sul mercato *spot* e, contestualmente, una posizione *long* sul mercato *future*, al fine di riacquistare a scadenza il bene sottostante ad un prezzo predeterminato nel contratto.

È interessante osservare i valori anomali del *convenience yield* nel periodo compreso tra l'8 aprile e il 20 aprile 2026, con un picco straordinario dell'82,82% il 13 aprile ed un *mispricing* di -7,1473\$ al barile. I valori in questo arco temporale sono motivati dall'aggravio delle condizioni della guerra, con particolare riferimento proprio al 12 e 13 aprile 2026. Il 12 aprile, il Presidente Donald Trump annuncia l'inizio di un'operazione volta a bloccare completamente lo Stretto di Hormuz, impedendo a tutte le navi di entrare e uscire dallo stesso (Financial Times, 2026). Il 13 aprile, inoltre, viene annunciato che le ultime navi passate dallo Stretto prima dell'inizio della guerra avrebbero raggiunto le raffinerie entro il 20 aprile, determinando un ulteriore peggioramento dello *shock* subito dall'offerta, specialmente in Europa e negli Stati Uniti d'America (Financial Times, 2026). Contestualmente, viene diffusa la notizia del crollo della produzione di petrolio dell'OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries), tra febbraio e marzo, pari al 27%⁹ (Financial Times, 2026; CNBC, 2026). L'OPEC è un cartello economico fondato nel 1960 e

⁸ Si noti che i prezzi *spot* e *future* si muovono insieme. Tuttavia, date le circostanze esposte, il prezzo *spot* ha avuto un rialzo leggermente maggiore, superando il prezzo *future*.

⁹ La produzione OPEC è diminuita di oltre il 30% durante il conflitto, perdendo circa 9,7 milioni di barili al giorno (CNBC, 2026).

composto attualmente da 11 paesi¹⁰. Rappresenta un pilastro del mercato mondiale del petrolio, controllando il 79% delle riserve mondiali provate. È a questo punto intuibile l'impatto che queste notizie hanno avuto sul mercato. In questa occasione, vi è stato anche un importante aumento del *basis*, con uno scostamento significativo del prezzo *spot* dal prezzo *future* specialmente il 13 aprile, segnalando una domanda di petrolio fisico enormemente superiore all'offerta.

Si ritiene infine utile effettuare un confronto tra le due fasi oggetto di analisi, al fine di osservare il drastico cambiamento nella stabilità del mercato dovuto al conflitto. Durante la fase di *escalation* sono state rilevate sei opportunità di arbitraggio, tutte di tipo *cash and carry*. Il *mispricing* medio è stato pari a +1,0939\$ al barile, con un valore massimo di +1,2410\$ e minimo di +0,9967\$.

In netto contrasto, la fase di guerra ha generato dieci opportunità di arbitraggio con caratteristiche totalmente diverse. Come già anticipato, si osserva un'inversione della struttura di mercato: dal *contango* della fase di *escalation* si passa alla *backwardation* della fase di guerra, con conseguente cambio di strategia ottimale da *cash and carry* a *reverse cash and carry*, ad eccezione dell'11 marzo 2026 allorché l'operazione prescelta rimane l'arbitraggio *cash and carry*. Le nove opportunità di *reverse cash and carry* sono caratterizzate altresì da *mispricing* nettamente superiori, con una media di -2,54\$ dollari al barile, un valore massimo (in valore assoluto) di -7,1473\$ e un minimo di -0,9932\$. Ciò indica che, il 13 aprile 2026, il profitto teorico potenziale era pari a +7,1473\$ al barile tramite arbitraggio *reverse cash and carry*, oltre cinque volte il massimo profitto potenziale conseguibile durante la fase di *escalation*, adottando una strategia *cash and carry*. Un *mispricing* così elevato è anche sintomo di una maggiore intensità delle inefficienze di mercato. L'analisi dello stesso, in entrambe le fasi, è coerente con i valori dei *convenience yield* registrati, motivati – come visto – da un inasprimento del conflitto. Si passa da valori che oscillano tra -0,0164 e -0,0457 a valori compresi tra +0,1938 e +0,8282. Tale inversione di segno conferma i cambiamenti nelle condizioni di mercato precedentemente illustrati.

¹⁰ L'OPEC contava 12 membri a febbraio 2026 (prima del ritiro degli Emirati Arabi Uniti il 1° maggio 2026): Arabia Saudita, Iraq, Iran, Kuwait, Venezuela, Libia, Emirati Arabi Uniti, Algeria, Nigeria, Gabon, Angola ed Ecuador. L'OPEC+ include anche Russia e altri produttori non-OPEC.

3.4.1. Le bande di Bollinger come misura alternativa dell'efficienza di mercato

L'analisi condotta finora si è basata sull'utilizzo della deviazione standard del *mispricing*, calcolata sull'intera serie storica, come soglia di significatività per l'identificazione delle opportunità di arbitraggio. Tuttavia, in contesti di mercato caratterizzati da forti variazioni di volatilità, l'utilizzo di una soglia statica rappresenta un limite rilevante, dal momento che non si adatta alle variazioni di volatilità del mercato. Conseguentemente, si corre il rischio di sovrastimare o sottostimare la dispersione corrente del *mispricing* rispetto a quella adottata come soglia di significatività. A tale proposito, le bande di Bollinger rappresentano un valido strumento di analisi della volatilità del mercato. Furono introdotte da John Bollinger nei primi anni '80, al fine di dare una definizione del concetto di "alto" e "basso" per i prezzi delle azioni (Liu et al., 2006). L'indicatore si compone di tre curve, rappresentate sulla base dei seguenti fattori: la deviazione standard mobile dei prezzi, la media mobile a n giorni ed un fattore k con valore variabile a seconda dei giorni considerati. In tal modo, la soglia di significatività si adatta progressivamente alle condizioni di mercato, ampliandosi in periodi di alta volatilità e restringendosi in quelli di stabilità.

3.4.2. Metodologia ed evidenze empiriche

In questa sede, le bande sono state calcolate non sulla base dei prezzi, bensì del *mispricing*, che ricordiamo essere definito come la differenza tra il prezzo *future* di mercato e il suo *fair value* o valore teorico. Per ciascun giorno si calcolano tre valori:

- Media mobile (SMA): media aritmetica degli n giorni precedenti. Definendo con M il *mispricing*, la SMA al giorno x sarà:
$$\frac{[M(x) + M(x-1) + M(x-2) + \dots + M(x-n+1)]}{n},$$
- deviazione standard mobile: deviazione standard dei *mispricing* negli ultimi n giorni;
- banda superiore e inferiore: ottenute aggiungendo e sottraendo k volte la deviazione standard mobile alla media mobile. K potrà assumere diversi valori; convenzionalmente $k = 2$ per $n = 20$ giorni secondo lo stesso Bollinger. Conseguentemente, la banda superiore, al giorno x , sarà pari a: $SMA(x) + 2\sigma$. Invece, come detto, per la banda inferiore è sufficiente cambiare il segno dell'operazione. Per finestre più brevi, Bollinger suggerisce valori leggermente inferiori; in questa sede si è adottato $k = 1,9$ per $n = 10$ giorni e $k = 2$ per $n = 20$ giorni.

Nel momento in cui il *mispricing* esce dalle bande, si configura un'opportunità di arbitraggio ritenibile significativa, questo perché lo scostamento dal valore della media mobile è superiore a quello giustificabile dalla volatilità del mercato, misurata dalla deviazione standard mobile. Sono state adottate due ampiezze differenti per la finestra, rispettivamente, $n = 10$ giorni e $n = 20$ giorni, al fine di confrontare il cambiamento di sensibilità dell'indicatore a diverse durate nel periodo di osservazione.

Bande a $n = 10$ giorni

Nel grafico 3.2 sono riportate le bande di Bollinger con ampiezza pari a 10 giorni, nel periodo compreso tra il 22 ottobre 2025 e il 20 aprile 2026¹¹. L'osservazione del grafico conferma parzialmente i risultati ottenuti con l'approccio basato sulla deviazione standard fissa. Nella fase di *escalation*, il *mispricing* fuoriesce leggermente dalle bande superiori in corrispondenza della fine di gennaio, segnalando opportunità di arbitraggio *cash and carry*. Tuttavia, queste opportunità sono considerate, seppur in misura minima, rilevanti subito prima del periodo individuato utilizzando la deviazione standard fissa (28 gennaio 2026-4 febbraio 2026), durante il quale il *mispricing* è interno alle bande. Precisamente, il giorno d'interesse identificato dalle bande è il 22 gennaio 2026.

Inoltre, viene anche segnalata un'opportunità potenziale di arbitraggio in data 6 febbraio 2026, non individuata dalla deviazione standard. In particolare, il *mispricing* fuoriesce dalla banda inferiore e permette di effettuare un arbitraggio *Reverse Cash and Carry*; si tratta di un episodio singolare, che prevede una strategia opposta rispetto a quella prevalentemente adottata durante questa fase, caratterizzata da un mercato in *contango*. Ed infatti, il *convenience yield* diventa positivo, dopo un periodo in cui aveva assunto valori negativi. Possibile giustificazione sono i colloqui tra gli Stati Uniti d'America e la Repubblica Islamica dell'Iran, tenutisi il 6 febbraio stesso. Per quanto, dalle dichiarazioni del Presidente americano, i colloqui siano stati produttivi, alcune dichiarazioni potrebbero aver avuto un impatto significativo sulle aspettative del mercato riguardo gli sviluppi futuri dei rapporti tra

¹¹ Si noti che le bande di Bollinger richiedono un determinato numero di giorni precedenti a quello oggetto di calcolo (a seconda dell'ampiezza della finestra). Pertanto, sebbene i dati del *mispricing* siano disponibili dal 22 settembre 2025, le bande mostrate nei grafici 3.2 e 3.3 partono dal 22 ottobre 2025, al fine di garantire la piena calcolabilità degli indicatori. Questo è reso possibile dalla stabilità del mese di settembre che, seppur omesso, non influisce sulle considerazioni effettuate nella presente analisi.

i due Paesi. Ad esempio, l'ambasciata virtuale degli Stati Uniti d'America in Iran ha rinnovato la richiesta, rivolta a tutti i cittadini statunitensi in Iran, di lasciare immediatamente il Paese (Corriere della Sera, 2026), un chiaro segnale di tensioni e preoccupazioni rilevanti. Ancora, notizie circa la presenza del comandante del CENTCOM (U.S. Central Command) Brad Cooper durante i colloqui (Corriere della Sera, 2026) potrebbero aver comportato ulteriori previsioni negative riguardo allo sviluppo futuro delle negoziazioni. Questo risultato testimonia proprio la maggiore sensibilità dell'approccio dinamico, capace di catturare gli scostamenti dalla volatilità recente che la soglia fissa, calibrata invece sulla serie storica, non riesce a rilevare.

Si tratta complessivamente di un periodo stabile, come evidenziato dalle bande relativamente strette. Ancora più contenute risultano le bande nella fase di massima stabilità che precede l'*escalation*: tuttavia, malgrado la scarsa volatilità, il *mispricing* fuoriesce dalle bande superiori il 24 novembre 2025, seppur in maniera esigua, identificando un'ulteriore possibilità di arbitraggio *cash and carry*.

Nella fase di guerra, lo scenario muta radicalmente. Le bande si ampliano significativamente a partire da inizio marzo, coerentemente con la crescente volatilità del *mispricing*. Nonostante questo ampliamento, il *mispricing* fuoriesce dalle bande superiori, seppur in misura minima rispetto a quanto emerso utilizzando la deviazione standard fissa, l'11 marzo 2026, configurando un'opportunità di arbitraggio *cash and carry*. Tuttavia, i momenti più significativi restano quelli identificati negli ultimi giorni del periodo analizzato, con il picco raggiunto il 13 aprile 2026, in cui, malgrado l'elevata volatilità recepita dalle bande già estremamente ampie, il *mispricing* fuoriesce completamente.

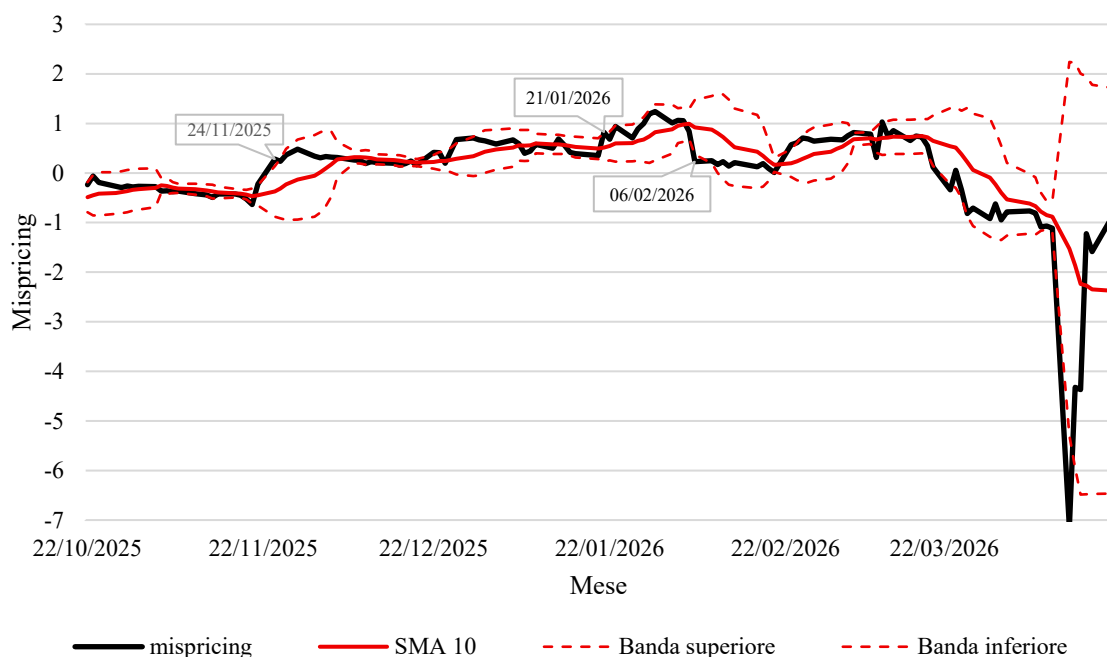


Grafico 3.2 – Bande di Bollinger sul mispricing WTI ($n = 10$ giorni)

Bande a $n = 20$ giorni

Il Grafico 3.3 riporta il medesimo *mispricing* con bande di Bollinger calcolate su una finestra di 20 giorni. Rispetto all'ampiezza di 10 giorni appena analizzata, le bande risultano più larghe e stabili, con pochi restringimenti piuttosto contenuti. Conseguentemente, alcune opportunità identificate con la finestra a 10 giorni, costituite da fuoriuscite minime del *mispricing* dalle bande, non sono catturate impostando la finestra a 20 giorni. In particolare, le opportunità della fase di *escalation* sono pressoché nulle, fatta eccezione per il 29 e 30 gennaio 2026, dove si verifica un lieve discostamento dalle bande.

Tuttavia, in questo caso le bande individuano due episodi, di cui uno piuttosto significativo, non identificati con la deviazione standard né tantomeno con le bande adottando una finestra a 10 giorni: in primo luogo, il 26 dicembre 2025 vi è una lieve uscita del *mispricing* dalla banda superiore, configurando un'opportunità di arbitraggio *cash and carry*. In secondo luogo, il 23 marzo 2026 si osserva un evidente allontanamento dalla banda inferiore, identificando un'ulteriore possibilità di arbitraggio *reverse cash and carry*. In quest'occasione, i prezzi di mercato hanno subito un ribasso significativo, chiudendo la giornata con un prezzo *spot* di 89,13\$ e un prezzo *future* di 88,13\$ al barile. Il ribasso dei prezzi è coerente con quanto accade durante il 23 marzo stesso; infatti, è stato tenuto un

ulteriore round di colloqui tra gli Stati Uniti d'America e la Repubblica Islamica dell'Iran, con un riscontro positivo riportato dal Presidente americano. Quest'ultimo, infatti, ha affermato che avrebbe posticipato di cinque giorni tutti gli attacchi previsti ai danni delle infrastrutture energetiche iraniane, nella speranza di un accordo produttivo volto a risolvere tutte le ostilità tra i due Paesi (Financial Times, 2026).

Infine, in entrambi i grafici le bande riportano le opportunità del 24 novembre 2025 e quelle della fase di guerra, queste ultime ancora più pronunciate nel Grafico 3.3.

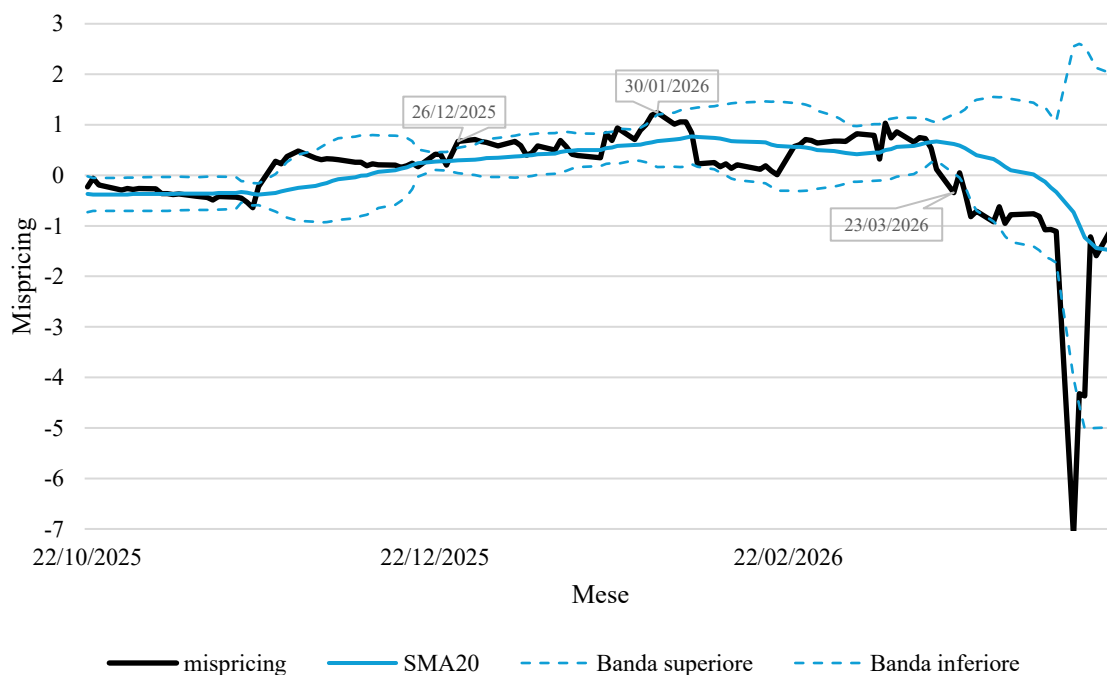


Grafico 3.3 – Bande di Bollinger sul mispricing WTI ($n = 20$ giorni)

In conclusione, il confronto tra l'approccio basato sulla deviazione standard fissa e quello basato sulle bande di Bollinger ci ha consentito di osservare l'efficienza del mercato sia da un punto di vista statico che dinamico. Come si è potuto verificare, le bande di Bollinger hanno confermato parte dei risultati ottenuti adottando la deviazione standard, contraddicendo tuttavia altrettante osservazioni, principalmente quelle individuate tra la fine del mese di gennaio e l'inizio di febbraio 2026. D'altra parte, sono state identificate opportunità aggiuntive, come il 24 novembre 2025.

Con la finestra a 20 giorni emergono anche i due episodi del 26 dicembre 2025 e del 23 marzo 2026, mentre eventuali opportunità minori vengono assorbite dalla maggiore ampiezza delle

bande. Invece, con la finestra a 10 giorni, viene anche rilevato il caso del 6 febbraio 2026. Un risultato comune a entrambe le metodologie è quello del periodo di aprile 2026, con particolare riferimento al 13 aprile. Questo segnale, identificato da entrambe le metodologie, conferma l'eccezionalità dell'episodio; la coincidenza di tre informazioni rilevanti (l'annuncio del blocco navale totale, l'esaurimento delle scorte in transito ed il crollo della produzione OPEC) ha generato un *mispricing* di portata straordinaria, che non è stato contenuto nemmeno adottando una soglia dinamica.

Conclusioni

L'analisi empirica condotta sul mercato WTI nel periodo settembre 2025-aprile 2026 ha consentito di osservare l'andamento dei prezzi *spot* e *future* in tre fasi distinte: stabilità pre-conflitto, *escalation* geopolitica e guerra aperta. Per individuare le opportunità di arbitraggio sono state adottate due differenti metodologie, la deviazione standard fissa e le bande di Bollinger, al fine di poterne trarre un confronto rilevante, mostrando come modelli diversi possano portare anche a risultati parzialmente differenti. I risultati ottenuti nel loro complesso hanno mostrato coerenza con quanto esposto nel Capitolo 2 riguardo l'incidenza dei flussi informativi sulla determinazione dei prezzi e le strategie di arbitraggio in base alle condizioni di mercato.

Tuttavia, non si può non sottolineare che le opportunità identificate in questa sede sono teoriche. Ciò significa che la loro realizzazione pratica è soggetta a limiti operativi, noti in letteratura come “limiti dell'arbitraggio” (Shleifer & Vishny, 1997). Le strategie di arbitraggio comportano costi di transazione non trascurabili: commissioni di intermediazione, costi di stoccaggio fisico del petrolio (nel *cash and carry*) e *stock lending fee* per la vendita allo scoperto (nel *reverse cash and carry*). Questi costi possono ridurre significativamente, e in alcuni casi addirittura annullare, il profitto teorico calcolato. Ne è un esempio il caso limite di aprile 2020, presentato nel Capitolo 2, in cui il prezzo dei contratti *futures* sul WTI divenne negativo. In quell'occasione, l'arbitraggio *cash and carry* fu reso impossibile dai costi di stoccaggio eccessivamente elevati.

Inoltre, le suddette strategie richiedono un capitale immobilizzato per la durata dell'operazione presso la *clearing house*. In contesti di mercato particolarmente volatili assume rilevanza il rischio di *margin call*: variazioni avverse del prezzo *future* possono richiedere depositi aggiuntivi presso la *clearing house* (ciò è dovuto al *marking to market*, vale a dire la rivalutazione giornaliera del *future* per tenere in considerazione le variazioni di valore durante la giornata di mercato) (Mishkin, 2025), costringendo l'arbitraggista a liquidare la posizione prima della scadenza con perdite potenzialmente significative. Questi rappresentano solo alcuni esempi dei rischi che interessano le strategie di arbitraggio che, pertanto, potrebbero rivelarsi inattuabili anche in presenza di *mispricing* elevati. Conseguentemente, le opportunità individuate sono valide sul piano teorico, considerando le

ipotesi semplificatrici adottate; tuttavia, è importante sottolineare che la loro implementazione pratica presenta sfumature più complesse, che i modelli non possono tenere in considerazione in modo completo ed esaustivo.

La suddetta analisi resta tuttavia significativa, dimostrando che lo studio teorico rimane un valido strumento di interpretazione delle condizioni dei mercati e dei prezzi, soprattutto in contesti caratterizzati da forti *shock* esogeni.

Appendice

La presente appendice raccoglie i dati utilizzati nell'analisi empirica condotta nel Capitolo 3. In particolare, viene riportato un estratto contenente le variabili maggiormente rilevanti ed i relativi valori nel periodo osservato, con frequenza giornaliera. Si ritiene opportuno ricordare che, per quanto riguarda le bande di Bollinger, è stato omissso il mese di settembre 2025 per motivazioni legate al calcolo della media mobile, già esposte nel Capitolo 3.

Il file Excel completo – all'interno del quale sono contenuti l'intero dataset ed i relativi calcoli – è accessibile tramite il *link* riportato di seguito.

https://docs.google.com/spreadsheets/d/12W0PolkSGOzKW4tNUKBOcXKwQzLVzdyw/edit?usp=drive_link&ouid=118281771953444816742&rtpof=true&sd=true

								Bande di Bollinger n=10		Bande di Bollinger n=20	
Date	Prezzo spot	Prezzo future	Risk-free rate	Convenience	Fair value	Mispricing	Basis	Limite sup.	Limite inf.	limite sup.	limite inf.
20/04/2026	91,06	89,61	0,0362	0,2315	90,60	-0,9932	0,0162	1,7256	-6,4658	2,0030	-4,9907
17/04/2026	85,91	83,85	0,0361	0,3045	85,44	-1,5853	0,0246	1,7814	-6,4759	2,1271	-5,0034
16/04/2026	96,46	94,69	0,0362	0,2350	95,91	-1,2218	0,0187	1,9487	-6,4824	2,3407	-5,0040
15/04/2026	93,04	88,13	0,0362	0,6016	92,50	-4,3658	0,0557	2,0070	-6,4854	2,5525	-5,0206
14/04/2026	93,07	88,19	0,0362	0,5823	92,51	-4,3201	0,0553	2,2226	-5,9518	2,6026	-4,5595
13/04/2026	100,72	92,95	0,0362	0,8282	100,10	-7,1473	0,0836	2,2413	-5,2904	2,5531	-4,0122
10/04/2026	98,34	96,57	0,036	0,2017	97,68	-1,1107	0,0183	-0,5572	-1,2039	1,0706	-1,7294
09/04/2026	99,62	97,87	0,036	0,1938	98,94	-1,0655	0,0179	-0,5660	-1,1367	1,1909	-1,6642
08/04/2026	96,17	94,41	0,0361	0,1966	95,49	-1,0842	0,0186	-0,3937	-1,1632	1,3465	-1,6101
07/04/2026	114,58	112,95	0,0362	0,1578	113,76	-0,8071	0,0144	-0,0842	-1,2450	1,3579	-1,4817
06/04/2026	114,01	112,41	0,0364	0,1536	113,17	-0,7650	0,0142	-0,0152	-1,2199	1,4402	-1,4047
02/04/2026	113,23	111,54	0,0361	0,1505	112,32	-0,7812	0,0152	0,2068	-1,2647	1,5118	-1,3182
01/04/2026	101,9	100,12	0,0361	0,1674	101,07	-0,9451	0,0178	0,5561	-1,3490	1,5542	-1,2071
31/03/2026	102,86	101,38	0,0361	0,1419	102,00	-0,6201	0,0146	0,8588	-1,3166	1,5452	-1,0368
30/03/2026	104,69	102,88	0,0362	0,1610	103,80	-0,9189	0,0176	1,1029	-1,2875	1,5544	-0,9161
27/03/2026	101,26	99,64	0,0362	0,1452	100,35	-0,7076	0,0163	1,1967	-1,0661	1,4965	-0,6981
26/03/2026	96,18	94,48	0,0363	0,1546	95,30	-0,8188	0,0180	1,3141	-0,8706	1,4361	-0,5025
25/03/2026	91,51	90,32	0,0363	0,1216	90,66	-0,3364	0,0132	1,2557	-0,4997	1,3024	-0,2181
24/03/2026	93,18	92,35	0,0363	0,0936	92,30	0,0546	0,0090	1,3282	-0,2987	1,2347	-0,0458
23/03/2026	89,33	88,13	0,0363	0,1214	88,47	-0,3372	0,0136	1,3089	-0,2273	1,2101	0,0348
20/03/2026	98,71	98,32	0,0363	0,0829	98,20	0,1208	0,0040	1,1573	0,1488	1,0465	0,2893
19/03/2026	96,11	96,14	0,0362	0,0326	95,60	0,5441	-0,0003	1,0858	0,3594	1,0753	0,2497
18/03/2026	96,12	96,32	0,0362	0,0132	95,59	0,7302	-0,0021	1,0868	0,4004	1,1231	0,1569
17/03/2026	96,01	96,21	0,0361	0,0138	95,46	0,7465	-0,0021	1,0836	0,3911	1,1340	0,0918
16/03/2026	93,39	93,5	0,0361	0,0238	92,84	0,6572	-0,0012	1,0785	0,3826	1,1421	0,0215
13/03/2026	98,48	98,71	0,0361	0,0137	97,85	0,8563	-0,0023	1,0792	0,3870	1,1423	-0,0234
12/03/2026	95,61	95,73	0,0361	0,0244	94,99	0,7440	-0,0013	1,0511	0,3726	1,1176	-0,0703
11/03/2026	86,8	87,25	0,0361	-0,0111	86,22	1,0310	-0,0052	1,0450	0,3675	1,0962	-0,1002
10/03/2026	83,71	83,45	0,036	0,0637	83,13	0,3152	0,0031	0,9356	0,4127	1,0144	-0,1046
09/03/2026	94,65	94,77	0,0361	0,0251	93,98	0,7851	-0,0013	0,8246	0,5836	1,0152	-0,1118
06/03/2026	90,77	90,9	0,0358	0,0242	90,08	0,8165	-0,0014	0,8134	0,5521	0,9729	-0,1250
05/03/2026	80,88	81,01	0,0359	0,0232	80,26	0,7543	-0,0016	1,0071	0,1977	0,9785	-0,1279
04/03/2026	74,58	74,66	0,036	0,0277	73,99	0,6671	-0,0011	1,0271	0,0457	1,0454	-0,1646
03/03/2026	74,48	74,56	0,036	0,0278	73,88	0,6788	-0,0011	1,0113	-0,0344	1,1196	-0,1994

Figura A.1 – Dataset, periodo 3 marzo 2026-20 aprile 2026

02/03/2026	71,13	71,23	0,0361	0,0256	70,55	0,6828	-0,0014	0,9805	-0,1143	1,1758	-0,2219
27/02/2026	66,96	67,02	0,0359	0,0296	66,38	0,6439	-0,0009	0,9202	-0,1486	1,2789	-0,2692
26/02/2026	65,1	65,21	0,036	0,0244	64,52	0,6877	-0,0017	0,8578	-0,1870	1,3639	-0,2993
25/02/2026	65,3	65,42	0,036	0,0236	64,71	0,7103	-0,0018	0,7579	-0,1784	1,4027	-0,3072
24/02/2026	65,62	65,63	0,036	0,0350	65,02	0,6141	-0,0002	0,6129	-0,1416	1,4228	-0,3092
23/02/2026	66,36	66,31	0,036	0,0409	65,74	0,5720	0,0008	0,4817	-0,0829	1,4298	-0,3068
20/02/2026	66,69	66,39	0,036	0,0948	66,38	0,0133	0,0045	0,3052	0,0250	1,4646	-0,3048
19/02/2026	66,66	66,43	0,0361	0,0796	66,34	0,0938	0,0035	0,6575	-0,1612	1,4577	-0,2307
18/02/2026	65,33	65,19	0,0361	0,0622	65,00	0,1882	0,0021	0,9629	-0,2742	1,4624	-0,1621
17/02/2026	62,53	62,33	0,0361	0,0738	62,21	0,1246	0,0032	1,1726	-0,3090	1,4540	-0,1372
13/02/2026	63,05	62,89	0,036	0,0625	62,68	0,2100	0,0025	1,3053	-0,2638	1,4381	-0,0947
12/02/2026	63,08	62,84	0,0361	0,0747	62,70	0,1401	0,0038	1,4854	-0,2376	1,4275	-0,0632
11/02/2026	64,8	64,63	0,0361	0,0620	64,40	0,2313	0,0026	1,5858	-0,1275	1,4067	0,0001
10/02/2026	64,2	63,96	0,036	0,0720	63,79	0,1690	0,0038	1,6055	0,0060	1,3938	0,0588
09/02/2026	64,53	64,36	0,036	0,0607	64,11	0,2518	0,0026	1,5555	0,2005	1,3672	0,1187
06/02/2026	63,77	63,55	0,036	0,0660	63,32	0,2288	0,0035	1,4759	0,3712	1,3453	0,1734
05/02/2026	62,9	63,29	0,0359	-0,0166	62,45	0,8439	-0,0062	1,2969	0,6925	1,3221	0,2178
04/02/2026	64,56	65,14	0,036	-0,0382	64,08	1,0559	-0,0089	1,3247	0,6329	1,3228	0,1726
03/02/2026	62,62	63,21	0,036	-0,0401	62,15	1,0621	-0,0093	1,3086	0,6032	1,2845	0,1647
02/02/2026	61,60	62,14	0,036	-0,033	61,13	1,0147	-0,0087	1,3801	0,3901	1,2422	0,1680
30/01/2026	64,50	65,21	0,0358	-0,0457	63,97	1,2410	-0,0109	1,3891	0,2562	1,2026	0,1645
29/01/2026	64,77	65,42	0,0359	-0,0370	64,23	1,1932	-0,0099	1,2780	0,2028	1,1019	0,2063
28/01/2026	62,75	63,21	0,0359	-0,0164	62,21	0,9967	-0,0073	1,1285	0,2268	0,9972	0,2584
27/01/2026	62,04	62,39	0,0358	-0,0037	61,50	0,8919	-0,0056	1,0453	0,2486	0,9422	0,2843
26/01/2026	60,46	60,63	0,0359	0,0166	59,92	0,7073	-0,0028	0,9780	0,2376	0,9059	0,2988
23/01/2026	60,7	61,07	0,0359	-0,0037	60,13	0,9399	-0,0061	0,9594	0,2308	0,9252	0,2288
22/01/2026	59,24	59,36	0,036	0,0230	58,67	0,6851	-0,0020	0,8360	0,2545	0,8609	0,2403
21/01/2026	60,38	60,62	0,0359	0,0109	59,79	0,8270	-0,0040	0,8030	0,2301	0,8462	0,2283
20/01/2026	60,3	60,34	0,0359	0,0281	59,99	0,3540	-0,0007	0,7023	0,2844	0,8235	0,1850
16/01/2026	59,4	59,44	0,0357	0,0287	59,05	0,3903	-0,0007	0,7364	0,3138	0,8323	0,1653
15/01/2026	59,13	59,19	0,0357	0,0254	58,77	0,4186	-0,0010	0,7375	0,3515	0,8469	0,1310
14/01/2026	61,84	62,02	0,0357	0,0070	61,45	0,5655	-0,0029	0,7502	0,3853	0,8625	0,0892
13/01/2026	60,85	61,15	0,0357	-0,0115	60,46	0,6895	-0,0049	0,7699	0,3860	0,8609	0,0538
12/01/2026	59,39	59,5	0,0356	0,0183	59,00	0,5008	-0,0018	0,7757	0,3836	0,8358	0,0310
09/01/2026	58,96	59,12	0,0352	0,0116	58,54	0,5804	-0,0027	0,7927	0,4012	0,8310	0,0086

Figura A.2 – Dataset, periodo 9 gennaio 2026-2 marzo 2026

08/01/2026	57,74	57,76	0,0352	0,0323	57,32	0,4414	-0,0003	0,8681	0,2497	0,8162	-0,0153
07/01/2026	56,01	55,99	0,0352	0,0382	55,59	0,3983	0,0004	0,8701	0,2417	0,8113	-0,0287
06/01/2026	56,97	57,13	0,0353	0,0126	56,54	0,5944	-0,0028	0,8683	0,2474	0,8084	-0,0394
05/01/2026	58,1	58,32	0,0354	0,0054	57,65	0,6721	-0,0038	0,9020	0,1285	0,7835	-0,0427
02/01/2026	57,21	57,32	0,0354	0,0211	56,74	0,5841	-0,0019	0,8747	0,0703	0,7410	-0,0355
31/12/2025	57,26	57,42	0,0357	0,0157	56,77	0,6514	-0,0028	0,8600	0,0066	0,7128	-0,0326
30/12/2025	57,79	57,95	0,0355	0,0161	57,28	0,6672	-0,0028	0,8126	-0,0447	0,6657	-0,0199
29/12/2025	57,89	58,08	0,0357	0,0131	57,37	0,7062	-0,0033	0,7328	-0,0592	0,6089	0,0041
26/12/2025	56,6	56,74	0,0356	0,0195	56,07	0,6740	-0,0025	0,6013	-0,0269	0,5472	0,0430
24/12/2025	58,72	58,35	0,036	0,0758	58,15	0,2000	0,0063	0,4218	0,0636	0,4626	0,0969
23/12/2025	58,55	58,38	0,0356	0,0536	57,97	0,4118	0,0029	0,4218	0,0622	0,4618	0,1011
22/12/2025	58,18	58,01	0,0356	0,0534	57,59	0,4179	0,0029	0,3678	0,0855	0,4445	0,1053
19/12/2025	56,8	56,66	0,0354	0,0635	56,49	0,1678	0,0025	0,2804	0,1418	0,5119	-0,0263
18/12/2025	56,22	56,15	0,0353	0,0491	55,91	0,2447	0,0012	0,3113	0,1399	0,6793	-0,2741
17/12/2025	56,07	55,94	0,0355	0,0604	55,75	0,1923	0,0023	0,3352	0,1308	0,7406	-0,4125
16/12/2025	55,44	55,27	0,0356	0,0676	55,11	0,1575	0,0031	0,3607	0,1333	0,7701	-0,5062
15/12/2025	56,97	56,82	0,0356	0,0623	56,62	0,1961	0,0026	0,3631	0,1607	0,7876	-0,5819
12/12/2025	57,61	57,44	0,0354	0,0631	57,23	0,2103	0,0030	0,3765	0,1758	0,7940	-0,6504
11/12/2025	57,76	57,6	0,0358	0,0611	57,37	0,2285	0,0028	0,4511	0,1550	0,7978	-0,7245
10/12/2025	58,67	58,46	0,036	0,0679	58,27	0,1931	0,0036	0,4604	0,1734	0,7875	-0,7815
09/12/2025	58,4	58,25	0,0364	0,0588	57,99	0,2584	0,0026	0,4519	0,1900	0,7734	-0,8281
08/12/2025	59,04	58,88	0,0364	0,0594	58,62	0,2626	0,0027	0,4505	0,1957	0,7521	-0,8692
05/12/2025	60,23	60,08	0,0362	0,0560	59,77	0,3126	0,0025	0,6282	-0,0792	0,7188	-0,8999
04/12/2025	59,82	59,67	0,0363	0,0558	59,35	0,3187	0,0025	0,8287	-0,4695	0,6736	-0,9219
03/12/2025	59,09	58,95	0,0364	0,0544	58,62	0,3320	0,0024	0,8598	-0,6696	0,6186	-0,9351
02/12/2025	58,81	58,64	0,0368	0,0584	58,33	0,3064	0,0029	0,8274	-0,7935	0,5579	-0,9347
01/12/2025	59,47	59,32	0,0371	0,0555	58,98	0,3391	0,0025	0,7685	-0,8809	0,4912	-0,9249
28/11/2025	58,58	58,55	0,0373	0,0408	58,07	0,4788	0,0005	0,6728	-0,9379	0,4076	-0,9032
26/11/2025	58,81	58,65	0,0376	0,0557	58,28	0,3674	0,0027	0,4864	-0,9458	0,2686	-0,8382
25/11/2025	58,25	57,95	0,0374	0,0711	57,72	0,2336	0,0052	0,2906	-0,9123	0,1371	-0,7726
24/11/2025	59,11	58,84	0,0375	0,0668	58,56	0,2802	0,0046	0,1086	-0,8512	0,0258	-0,7116
21/11/2025	58,86	58,06	0,0375	0,1207	58,28	-0,2235	0,0138	-0,2457	-0,6512	-0,1512	-0,5819
20/11/2025	60,07	59,14	0,0378	0,2276	59,78	-0,6366	0,0157	-0,3131	-0,6154	-0,1379	-0,5792
19/11/2025	60,27	59,44	0,0379	0,2012	59,97	-0,5263	0,0140	-0,3338	-0,5374	-0,1126	-0,5642
18/11/2025	61,51	60,74	0,0378	0,1815	61,19	-0,4495	0,0127	-0,3326	-0,5015	-0,1418	-0,5674
17/11/2025	60,66	59,91	0,038	0,1756	60,34	-0,4252	0,0125	-0,2924	-0,5223	-0,0412	-0,6757
14/11/2025	60,87	60,09	0,038	0,1688	60,51	-0,4245	0,0130	-0,2541	-0,5263	-0,0333	-0,6852

Figura A.3 – Dataset, periodo 14 novembre 2025-8 gennaio 2026

13/11/2025	59,54	58,69	0,038	0,1798	59,18	-0,4927	0,0145	-0,2287	-0,5161	-0,0363	-0,6899
12/11/2025	59,3	58,49	0,0379	0,1700	58,93	-0,4439	0,0138	-0,2225	-0,4749	-0,0342	-0,6896
10/11/2025	60,94	60,13	0,0379	0,1600	60,54	-0,4141	0,0135	-0,2206	-0,4362	-0,0336	-0,6924
07/11/2025	60,54	59,75	0,0377	0,1492	60,12	-0,3658	0,0132	-0,2309	-0,4182	-0,0409	-0,6894
06/11/2025	60,24	59,43	0,0377	0,1500	59,81	-0,3782	0,0136	-0,2011	-0,4193	-0,0362	-0,7006
05/11/2025	60,4	59,6	0,038	0,1461	59,96	-0,3594	0,0134	-0,1313	-0,4544	-0,0334	-0,7037
04/11/2025	61,38	60,56	0,038	0,1447	60,92	-0,3624	0,0135	-0,1134	-0,4094	-0,0315	-0,7045
03/11/2025	61,79	61,05	0,0382	0,1318	61,32	-0,2709	0,0121	0,1414	-0,6390	-0,0308	-0,7038
31/10/2025	61,75	60,98	0,0373	0,1289	61,24	-0,2639	0,0126	0,1153	-0,7105	-0,0320	-0,7052
30/10/2025	61,36	60,57	0,0376	0,1303	60,85	-0,2796	0,0130	0,0931	-0,7395	-0,0378	-0,7048
29/10/2025	61,26	60,48	0,0377	0,1276	60,74	-0,2613	0,0129	0,0837	-0,7655	-0,0412	-0,7042
28/10/2025	60,97	60,15	0,0373	0,1306	60,44	-0,2904	0,0136	0,0598	-0,7861	-0,0443	-0,7033
27/10/2025	62,13	61,31	0,0373	0,1271	61,58	-0,2702	0,0134	0,0366	-0,8044	-0,0468	-0,7001
24/10/2025	62,27	61,5	0,0377	0,1174	61,69	-0,1923	0,0125	0,0105	-0,8135	-0,0426	-0,6967
23/10/2025	62,44	61,79	0,038	0,1039	61,85	-0,0636	0,0105	-0,0330	-0,7991	-0,0312	-0,6834
22/10/2025	59,3	58,5	0,038	0,1220	58,73	-0,2335	0,0137	-0,1519	-0,7390	-0,0190	-0,6706
21/10/2025	58,66	57,24	0,038	0,1871	58,09	-0,8502	0,0248	-0,2241	-0,7482	0,0337	-0,6756
20/10/2025	58,34	57,52	0,0381	0,2048	58,05	-0,5270	0,0143				
17/10/2025	58,3	57,54	0,0384	0,1793	57,98	-0,4406	0,0132				
16/10/2025	58,29	57,46	0,0386	0,1882	57,96	-0,5024	0,0144				
15/10/2025	59,08	58,27	0,0387	0,1787	58,74	-0,4690	0,0139				
14/10/2025	59,52	58,7	0,0385	0,1754	59,17	-0,4658	0,0140				
10/10/2025	59,75	58,9	0,0386	0,1662	59,36	-0,4568	0,0144				
09/10/2025	62,36	61,51	0,0387	0,1580	61,94	-0,4303	0,0138				
08/10/2025	63,37	62,55	0,0385	0,1491	62,93	-0,3819	0,0131				
07/10/2025	62,52	61,73	0,0385	0,1440	62,08	-0,3478	0,0128				
06/10/2025	62,49	61,69	0,0386	0,1431	62,04	-0,3488	0,0130				
03/10/2025	61,65	60,88	0,0387	0,1343	61,18	-0,2961	0,0126				
02/10/2025	61,28	60,48	0,0386	0,1365	60,80	-0,3183	0,0132				
01/10/2025	62,59	61,78	0,0385	0,1336	62,09	-0,3072	0,0131				
30/09/2025	63,17	62,37	0,0386	0,1298	62,65	-0,2833	0,0128				
29/09/2025	64,27	63,45	0,0386	0,1287	63,73	-0,2840	0,0129				
26/09/2025	66,5	65,72	0,0387	0,1170	65,91	-0,1946	0,0119				
25/09/2025	65,51	64,98	0,0389	0,0918	64,92	0,0552	0,0082				
24/09/2025	65,4	64,99	0,0387	0,0790	64,80	0,1866	0,0063				
23/09/2025	63,76	63,41	0,0386	0,0732	63,17	0,2428	0,0055				
22/09/2025	62,99	62,28	0,0386	0,1087	62,39	-0,1143	0,0114				

Figura A.4 – Dataset, periodo 22 settembre 2025-13 novembre 2025

Bibliografia

Bodie, Z., Kane, A., & Marcus, A. J. (2024). *Essentials of investments* (13;2024 release, international student; ed.). McGraw Hill.

Corriere della Sera. (2026, febbraio 6). *Le notizie di venerdì 6 febbraio sulla situazione in Iran*. [Le notizie di venerdì 6 febbraio sulla situazione in Iran | Corriere.it](https://www.corriere.it/2026/02/06/le-notizie-di-venerdi-6-febbraio-sulla-situazione-in-iran/)

Crenca, C., Fersini, P., Melisi, G., Olivier, G., Pelle, M. (2018). *Elementi di matematica finanziaria*. Pearson.

Duguid, K., Herbert, E., & Smith, I. (2026, marzo 23). *Markets rebound after Donald Trump postpones attack on Iranian energy*. Financial Times. <https://www.ft.com/content/95d42d92-cedf-4849-a669-a53d2179b257>

Ederington, L. H., Fernando, C. S., Holland, K. V., Lee, T. K., & Linn, S. C. (2021). Dynamics of arbitrage. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 56(4), 1350-1380. <https://doi.org/10.1017/S0022109020000204>

Fanelli, V., Fontana, C., & Rotondi, F. (2026). A hidden Markov model for statistical arbitrage in international crude oil futures markets. *Journal of Banking & Finance*, 188, 107714. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2026.107714>

Fernandez-Perez, A., Fuertes, A., & Miffre, J. (2023). The negative pricing of the may 2020 WTI contract. *The Energy Journal (Cambridge, Mass.)*, 44(1), 119-142. <https://doi.org/10.5547/01956574.44.1.afer>

Geman, H. (2005). *Commodities and commodity derivatives: Modeling and pricing for agriculturals, metals and energy*. John Wiley & Sons.

Hull, J. C. (John C.). (2015). *Options, futures, and other derivatives* (9.th ed.). Pearson.

Kimball, S. (2026, aprile 13). *Middle East oil production plunges due to Iran war, OPEC data shows*. CNBC. <https://www.cnbc.com/2026/04/13/iran-war-oil-opec-production-decline.html>

Liu, W., Huang, X., Zheng, W. (2006). Black–Scholes’ model and Bollinger bands. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 371(2), 565-571.

<https://doi.org/10.1016/j.physa.2006.03.033>

McDonald, R. L. (2013). *Derivatives Markets* (3. rd ed.). Pearson.

Mishkin, F. S., Eakins, S. G., & Beccalli, E. (2025). *Istituzioni e mercati finanziari* (10.th ed.). Pearson.

Pindyck, R. S. (2001). The Dynamics of Commodity Spot and Futures Markets: A Primer. *The Energy Journal*, 22(3), 1–29. <https://www.jstor.org/stable/41322920>

Politi, J. (2026, aprile 12). *Donald Trump announces naval blockade of Strait of Hormuz as Iran peace talks fail*. Financial Times. <https://www.ft.com/content/49fb7745-e938-4fd2-a1a5-924a8e80782c>

Ratcliffe, V. (2026, aprile 13). *Opec production falls more than a quarter as Iran war hits oil exports*. Financial Times. <https://www.ft.com/content/2d538fd5-0acd-4403-8372-798efa96dd4f>

Riccardi, A. (2026, gennaio 17). *Iran, tensione alle stelle con gli Usa. "Tutte le opzioni sul tavolo", nel mirino le basi americane*. Il Tempo. <https://www.iltempo.it/esteri/2026/01/17/news/usa-iran-escalation-minacce-basi-americane-donald-trump-crisi-proteste-accuse-khamenei-45888156/>

Shleifer, A., Vishny, R.W., 1997. The limits of arbitrage. *The Journal of Finance* 52 (1), 35-55. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1997.tb03807.x>

Smyth, J. (2026, aprile 13). *Oil supply crunch intensifies as last Hormuz tankers reach refineries*. Financial Times. <https://www.ft.com/content/bcd72d2a-79cc-48db-a149-076cbca22a24>

Sitografia

AnalystPrep. (2021, novembre 19). *The Carry Arbitrage Model*.

<https://analystprep.com/study-notes/cfa-level-2/the-carry-arbitrage-model/>

Barchart.com. (2026). *Crude Oil WTI (CL*0) - Historical Prices*.

https://www.barchart.com/futures/quotes/CL*0/historical-prices

Brusstar, D., & Karas, R. (2023, marzo 21). *Why Cushing matters: An update on the WTI benchmark*. CME Group. https://www.cmegroup.com/education/articles-and-reports/why-cushing-matters-a-look-at-the-wti-benchmark?itm_source=cmegroup&itm_medium=news_tile

[benchmark?itm_source=cmegroup&itm_medium=news_tile](https://www.cmegroup.com/education/articles-and-reports/why-cushing-matters-a-look-at-the-wti-benchmark?itm_source=cmegroup&itm_medium=news_tile)

Borsa Italiana. (s.d.). *Mercato Over the Counter. Glossario finanziario*.

<https://www.borsaitaliana.it/borsa/glossario/mercato-over-the-counter.html>

CME Group. (2009). *Chapter 200: Light Sweet Crude Oil futures*. NYMEX Rulebook.

<https://www.cmegroup.com/rulebook/NYMEX/2/200.pdf>

CONSOB. (s.d.-a). *I mercati finanziari. Educazione finanziaria*.

<https://www.consob.it/web/investor-education/i-mercati-finanziari>

CONSOB. (s.d.-b). *Il sistema finanziario: una stilizzazione. Educazione finanziaria*.

<https://www.consob.it/web/investor-education/il-sistema-finanziario-attuale-una-stilizzazione>

Federal Reserve Bank of St. Louis. (2026.). *3-Month Treasury Bill Secondary Market Rate, Discount Basis [DTB3]*. FRED. <https://fred.stlouisfed.org/series/DTB3>

Federal Reserve Bank of St. Louis. (2026). *Spot Crude Oil Price: West Texas Intermediate (WTI) [DCOILWTICO]*. FRED. <https://fred.stlouisfed.org/series/DCOILWTICO>

Flannery, M. J., Glasserman, P., Mordecai, D. K. A., & Rossi, C. (2012). *Forging best practices in risk management* (Office of Financial Research Working Paper No. 0002). U.S. Department of the Treasury. <https://www.financialresearch.gov/working->

[papers/files/OFRwp0002_FlanneryGlassermanMordecaiRossi_ForgingBestPracticesinRiskManagement.pdf](#)

Nicolini, G. (2026). *Attività bancaria ed i suoi rischi* [Slide del corso]. Economia dei Mercati e degli Intermediari Finanziari, Libera Università degli Studi Sociali Guido Carli.

Nicolini, G. (2026). *Obbligazioni* [Slide del corso]. Economia dei Mercati e degli Intermediari Finanziari, Libera Università degli Studi Sociali Guido Carli.

Nicolini, G. (2026). *Investment Banking* [Slide del corso]. Economia dei Mercati e degli Intermediari Finanziari, Libera Università degli Studi Sociali Guido Carli.

Nicolini, G. (2026). *Mercati derivati* [Slide del corso]. Economia dei Mercati e degli Intermediari Finanziari, Libera Università degli Studi Sociali Guido Carli.

OK Forex. (s.d.). *Rollover futures: come gestire le scadenze senza perdere soldi*. <https://www.okforex.it/investimenti/rollover-futures-come-gestire-scadenze-perdere>

U.S. Department of Energy. (2022, marzo 11). *United States to Release 172 Million Barrels of Oil From the Strategic Petroleum Reserve*. <https://www.energy.gov/articles/united-states-release-172-million-barrels-oil-strategic-petroleum-reserve>