



POLITECNICO
MILANO 1863

Partecipazione di utenti passivi al mercato dei servizi di dispacciamento: il caso di un Data Center bitcoin mining

Relatore: prof. Marco Merlo

Simone Colombo

Co-Relatore: prof. Ferdinando Ametrano

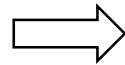
Anno Accademico: 2018/19

School of Industrial and Information Engineering
Master of Science – Energy Engineering

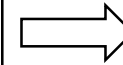


Normativa:

- Efficienza energetica
- Decarbonizzazione
- Aumento quote energia rinnovabile



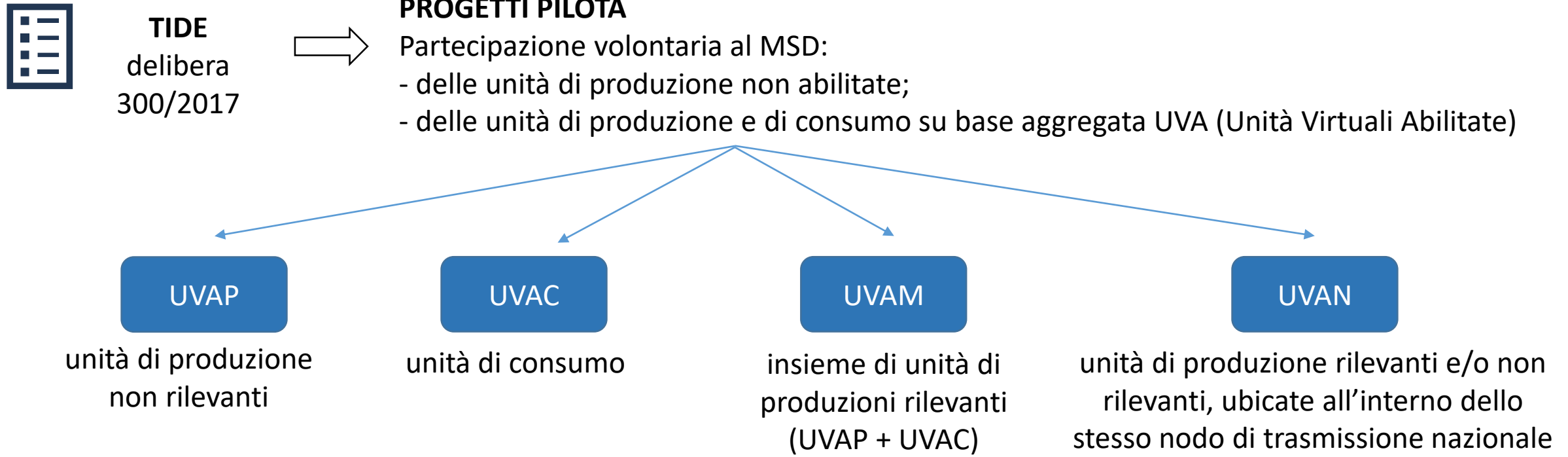
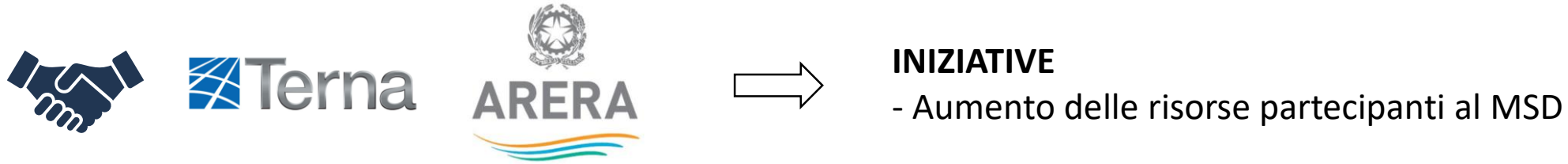
- Crescente diffusione FER e GD
- Riduzione impianti programmabili



- Riduzione risorse riserva primaria e terziaria
- Aumento congestioni locali



Necessità di riformare il servizio di dispacciamento per garantire sicurezza ed efficienza del sistema elettrico



ANALISI DEL SERVIZIO DI FLESSIBILITÀ



UVAC

(Unità Virtuali Abilitate di Consumo)

Requisiti abilitazione

Abilitazione a MSD di aggregati di carico in grado di ridurre il proprio prelievo di almeno **1 MW entro 15 minuti** dalla richiesta di Terna e per almeno **3 ore consecutive**

Servizi offerti

Riserva terziaria di potenza a salire
nella fase di programmazione del MSD

Bilanciamento
nella fase di bilanciamento del MSD

Impegno di offerta

Offerta a salire con un quantitativo di risorse almeno pari alla quantità assegnata per **3 ore consecutive tra le 14:00 e le 20:00 dal lunedì al venerdì**

ANALISI DEL SERVIZIO DI FLESSIBILITÀ



UVAC
(Unità Virtuali Abilitate di Consumo)

Corrispettivo fisso

Definito in esito ad asta a ribasso
(«*pay as bid*») a partire dal corrispettivo di

30.000 €/MWh

60.000 per offerte di **6 ore** continuative e comunque, in generale, per almeno il 70% dei giorni del periodo di validità

Corrispettivo variabile

Massimo prezzo dell'offerta che il BSP può
presentare sul MSD (*Strike Price*):

400 €/MWh

Selezione offerte

Accettazione in fase di programmazione del MSD




Attivazione in fase di bilanciamento del MSD

Data Center Mining

Data Center: impianto che ospita macchine di processo all'interno di sale opportunamente segregate.

Data Center mining o Mining Farm: Data Center costituito da hardware specializzati nello svolgere il **processo di mining**, processo altamente energivoro il cui scopo principale è quello di **coniare nuova moneta digitale** e rendere la **rete di tale moneta sicura e affidabile**.



 **bitcoin**  **1°** 

Mining bitcoin

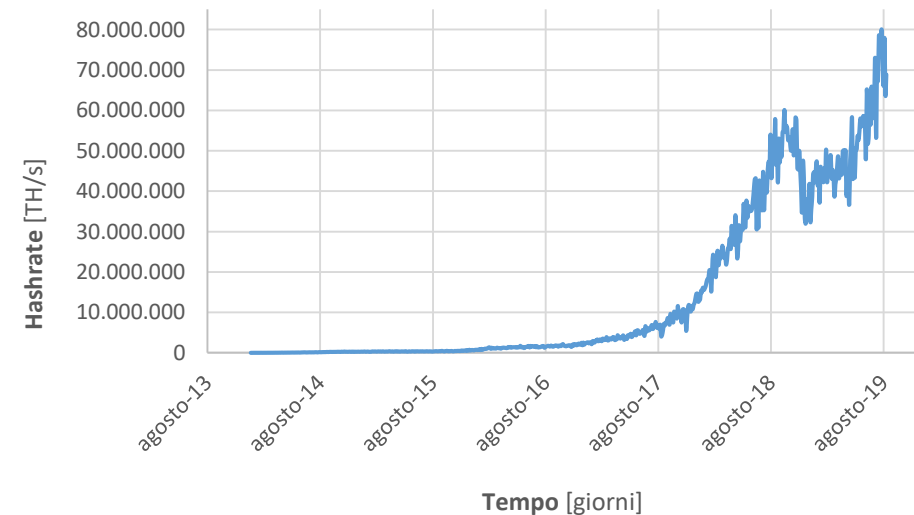
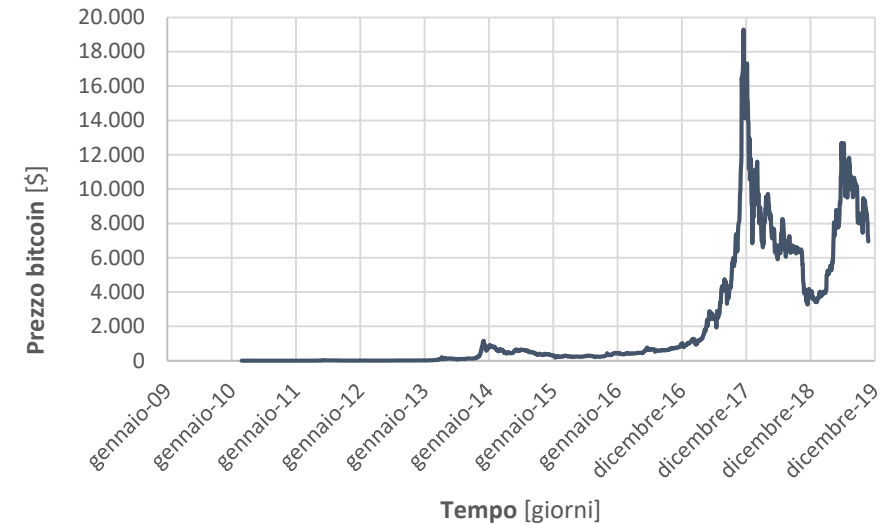
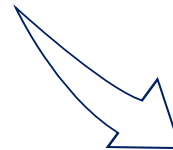
Parametri **tecnici** ed **economici** da considerare:

Prezzo bitcoin: il controvalore in moneta fiat. Segue le normali regole del mercato di compravendita [\$/BTC]

Hash rate: unità di misura della potenza di elaborazione dei miner. L'unità di misura base è [H/s]

Efficienza: parametro utilizzato per misurare le prestazioni dei miner. L'unità di misura base è [J/GH]

Difficoltà: parametro dinamico che sta ad indicare quanto è difficile trovare un blocco dati rispetto ad una condizione di riferimento. È adimensionale []



Ciclo bitcoin



Nel corso della breve storia del mercato di bitcoin, si è ripetuto ciclicamente un particolare pattern.

Nei mercati finanziari, difatti, si tendono a ripetere con una certa frequenza tre **fasi cicliche**:

- Fase *accumulativa*
- Fase *distributiva*
- Fase *di trend*



Ciclo bitcoin



Nel corso della breve storia del mercato di bitcoin, si è ripetuto ciclicamente un particolare pattern.

Si cercano i **momenti critici** per ogni fase:

- Fase *accumulativa*: **UP**
- Fase *distributiva*: **LOWER LOW**
- Fase *di trend*: **BREAKOUT**

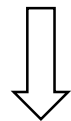




CASI STUDIO

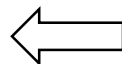
Rappresentano gli **inizi temporali** della finestra di studio considerando le seguenti variabili:

- Contratto di fornitura con Terna: **6 mesi / 1 anno**
- Servizio di flessibilità: **Regolazione / Senza regolazione**



- Valutare la coerenza dei risultati economici ottenuti a partire da uno stesso momento critico di due scenari diversi
- Valutare l'incidenza economica di due momenti critici differenti all'interno dello stesso scenario

Si cercano i **momenti critici** per ogni fase:



- Fase *accumulativa*: **UP**
- Fase *distributiva*: **LOWER LOW**
- Fase *di trend*: **BREAKOUT**

CASO 1: NO regolazione

CASO 2: NO UPS, NO GE. 3 ore di regolazione

CASO 3: NO UPS, NO GE. 6 ore di regolazione

CASO 4: SI UPS per 3 ore di regolazione, NO GE

CASO 5: SI UPS per 6 ore di regolazione, NO GE

CASO 6: SI UPS per 0,25 ore di regolazione,

SI GE per 2,75 ore di regolazione

CASO 7: SI UPS per 0,25 ore di regolazione,

SI GE per 5,75 ore di regolazione

Si considerano le seguenti condizioni logiche operative:

- **REGOLAZIONE POSSIBILE** (SI o NO)
- **PROFITTO NEGATIVO** (SI o NO)
- **OFFERTA ACCETTATA** (SI o NO)

Per ogni caso si possono verificare 6 stati operativi, ottenuti attraverso la combinazione delle precedenti condizioni

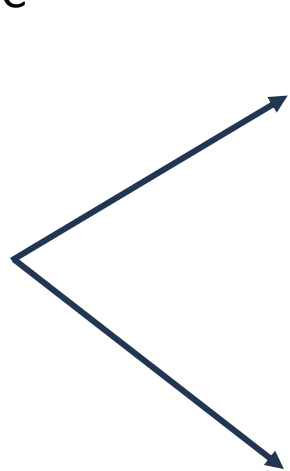


Data Center mining – Caso senza regolazione –



IPOTESI DI FUNZIONAMENTO

- Hardware di mining ASIC
- Mining pool
- Efficienza massima
- Shutdown provvisorio
- Dati storici
- Politica di trading



Se profitto **POSITIVO**
DC sempre acceso



Se profitto **NEGATIVO**
DC sempre spento



PARAMETRI ECONOMICI

- **Ricavi:** proporzionali all'Hash rate generato dal Data Center e inversamente proporzionale all'Hash rate della rete Bitcoin
- **Costi:** costi di elettricità del miner e del sistema di raffreddamento
- **Costo di investimento:** costo del Data Center Miner (1,3 \$/W)
- **Flusso netto di cassa:** parametro economico di confronto

Data Center mining – Caso con regolazione–



IPOTESI DI FUNZIONAMENTO

- Shutdown provvisorio
- No penali contrattuali
- No indisponibilità/guasti
- Servizio di regolazione ideale
- Ordine di dispacciamento
- Contratto

Per il *servizio di bilanciamento*, Terna considera validi i dati tecnici dichiarati almeno 30 minuti prima dell'ordine di dispacciamento

Per il servizio di *riserva terziaria*, è definito (per le UVAC) un programma vincolante sempre pari a zero



Se profitto **POSITIVO**
DC sempre acceso,
ad eccezione:
lun – ven
14:00 – 20:00
*in caso di ordine di
dispacciamento*



Se profitto **NEGATIVO**
DC sempre spento,
ad eccezione:
lun – ven
13:00 – 20:00





IPOTESI DI FUNZIONAMENTO

- Shutdown provvisorio
- No penali contrattuali
- No indisponibilità/guasti
- **Servizio di regolazione ideale**
- **Ordine di dispacciamento**
- **Contratto**

Non ci sono accettazioni parziali di offerte
Offerta accettata = offerta attivata

Al massimo 1 ordine di dispacciamento al
giorno, della durata di 3-6 ore

Stipulato un contratto con TERNA per una
durata di 6 mesi – 1 anno

Data Center mining – Caso con regolazione–

DIMENSIONAMENTO UPS

Ipotesi: Batteria agli ioni di Litio

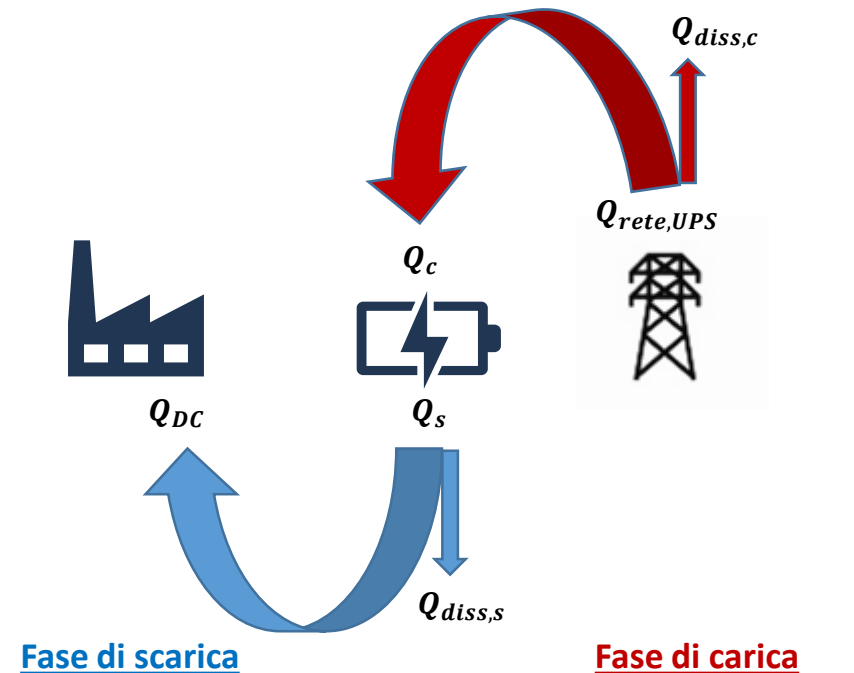
Costo di installazione [€/kWh]	500
Vita utile [anni]	10
η_s []	0,9
η_c []	0,9
Costo adeguamento impianto [€]	10.000
Costo di adeguamento operativo [€/anno]	2.000

→ Ammortamento
proporzionale alla durata del
contratto e inversamente
proporzionale alla vita utile
dell' UPS

	[%/anno]	[%/giorno]
P_{ciclo}	15,87	0,043
P_{s-d}	13,14	0,036

→ Costo perdita capacità di
carica

Sovradimensionamento del 10%



Costi di carica/scarica proporzionali a Q_{rete}

Data Center mining – Caso con regolazione–

DIMENSIONAMENTO GE

Ipotesi: Gruppo Elettrogeno a gasolio

Vita utile [anni]	20
Costo adeguamento impianto [€]	15.000
Costo di adeguamento operativo [€/anno]	3.000

PCI [GJ/ton]	20
Densità [kg/mc]	835

Autonomia di almeno 3 ore
Sovradimensionamento del 10%

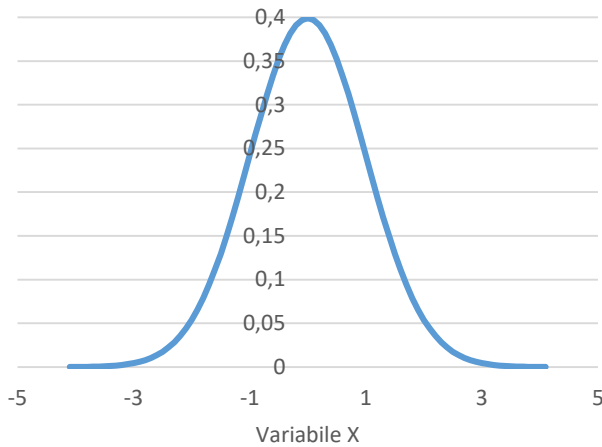
$$c_{fuel} = \frac{\dot{Q}_{el} \cdot t_{reg,GE}}{\eta_{el} \cdot \rho_{comb} \cdot PCI_{comb}} \longrightarrow \text{Costo operativo legato al consumo del combustibile}$$



$t_{reg} [h]$	N. unità	Potenza singola unità GE [kW]	$\eta_{el} []$	Costo su unità di potenza [€/kW]	Capacità serbatoio [L]
2,75	1	1100	0,435	170	670
5,75	2	1100	0,435	170	670

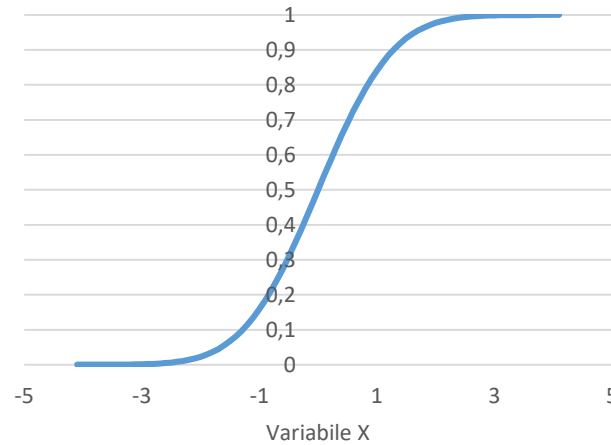
Simulazione offerte MSD

Funzione densità di probabilità



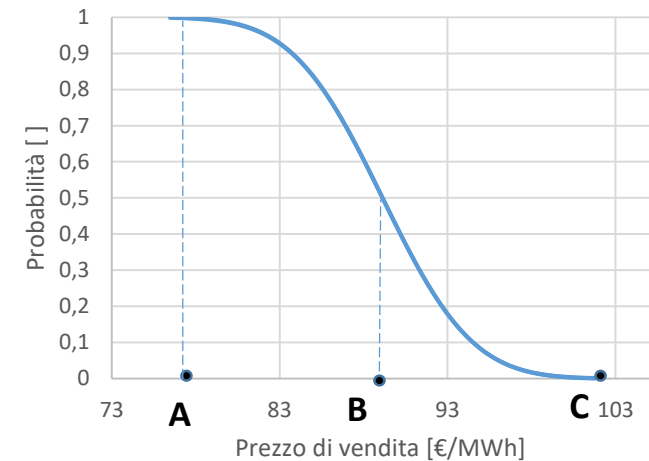
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \text{ con } x \in \mathbb{R}$$

Funzione di ripartizione



$$f(x) = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \frac{(x - \mu)}{\sigma\sqrt{2}} \right)$$

Probabilità di accettazione offerta



$$A = \overline{P_{p,m}}$$

$$B = \overline{P_p}$$

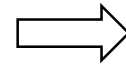
$$C = \overline{P_{p,M}}$$

$$p(x) = 1 - f(x)$$

Esiti del MSD della fase
ex-ante della zona **Nord**
del mercato elettrico
italiano



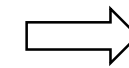
- **Prezzo marginale a salire zonale orario** P_M
- **Prezzo medio ponderato a salire zonale orario** $\overline{P_{p,or}}$
- **Offerte accettate a salire zonale orario** N



$$\overline{P_p} = \frac{\sum_{m=1}^{24} (\overline{P_{p,or}} \cdot N)}{\sum_{m=1}^{24} N}$$

$$\overline{P_{p,M}} = \frac{\sum_{m=1}^{24} (P_M \cdot N)}{\sum_{m=1}^{24} N}$$

$$\overline{P_{p,m}} = \overline{P_p} - (\overline{P_{p,M}} - \overline{P_p})$$



$$x = [-3.2, 3.2]$$

$$f(x) = [0.000687, 0.999313]$$



Offerta minima MSD

Per **offerta minima** si intende il minimo valore del prezzo offerto in MSD tale che una sua eventuale accettazione porterebbe ad annullare il mancato ricavo che si avrebbe durante il servizio di regolazione, nel giorno precedente a quello cui si riferisce l'offerta

$$\Delta \text{Profitto} (D - 1) \left[\frac{\text{€}}{\text{giorno}} \right] = 0$$

$$\Delta \text{Profitto} (D - 1) \left[\frac{\text{€}}{\text{giorno}} \right] =$$

$$= \text{Profitto} (D - 1) - \text{Profitto}_{\text{Reg}} (D - 1) =$$

$$= \text{Ricavi} (D - 1) - \text{Costi} (D - 1) - (\text{Ricavi}_{\text{Reg}} (D - 1) - \text{Costi}_{\text{Reg}} (D - 1)) =$$

$$= \text{Ricavi} - \text{Costi} - (\text{Ricavi}_{\text{Reg}} - \text{Costi}_{\text{Reg}})$$

Per **profitto positivo** si
riferisce alla **stato b)**

Per **profitto positivo** si
riferisce alla **stato a)**



Se profitto negativo o offerta minima troppo bassa:
offerta minima = offerta minima limite

Offerta minima limite assume il valore tale per cui si ottenga il maggiore NCF a fine contratto.

Per avere un margine di profitto bisognerà incrementare l'offerta minima

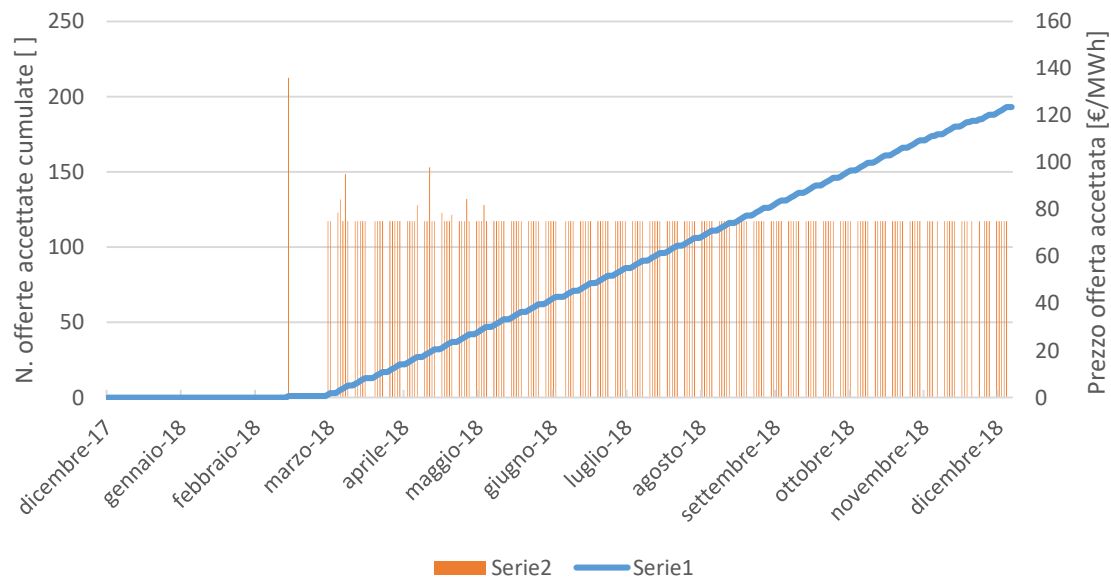
L'incremento rispetto l'offerta minima assume il valore tale per cui si ottiene il maggiore NCF a fine contratto.



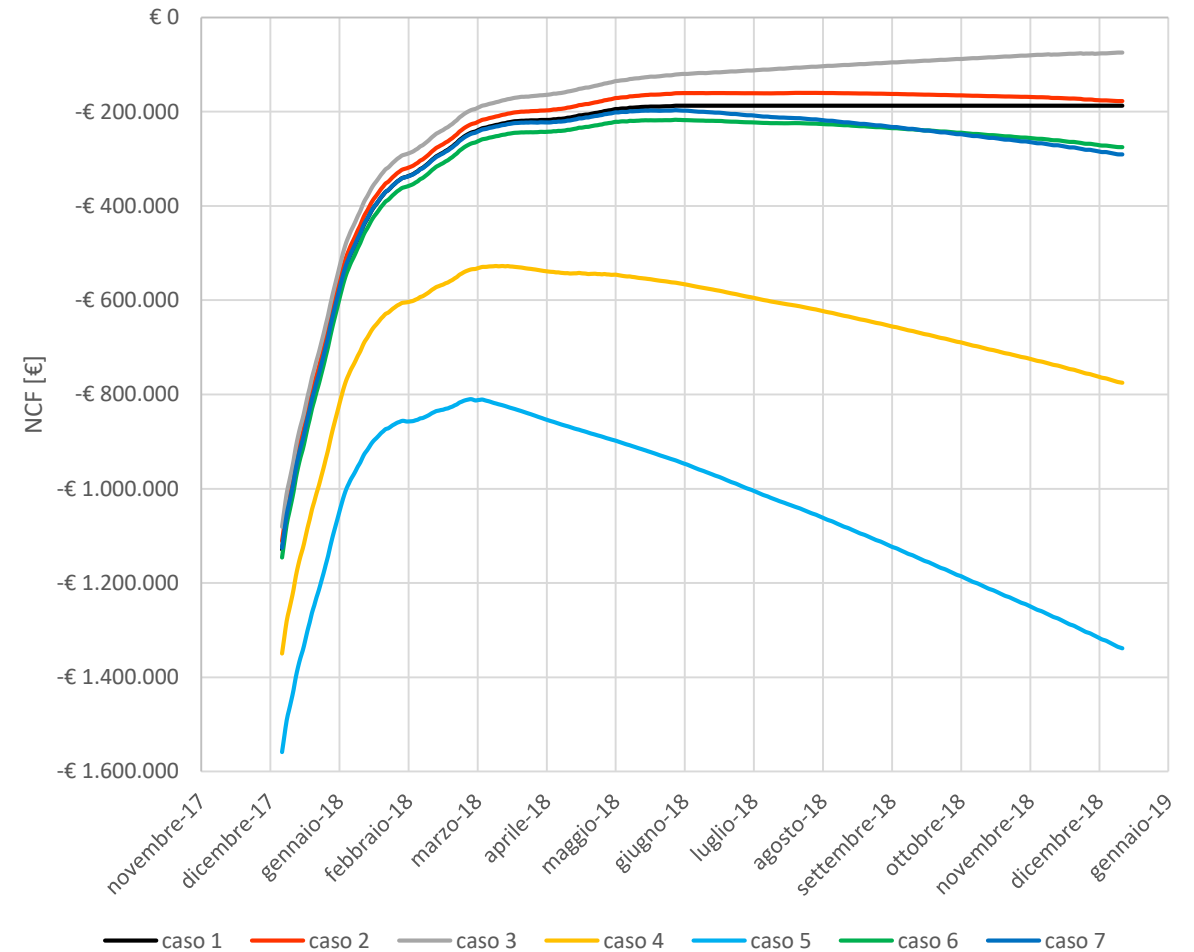
Si definisce **caso base** quello che possiede i seguenti due

- parametri:
- *Costo corrente elettrica: 0,15 [€/kWh]*
 - *Durata contratto: 1 [anno]*

A: scenario 3, fase accumulativa, caso 3, 0.15 [€/kWh], 1 anno

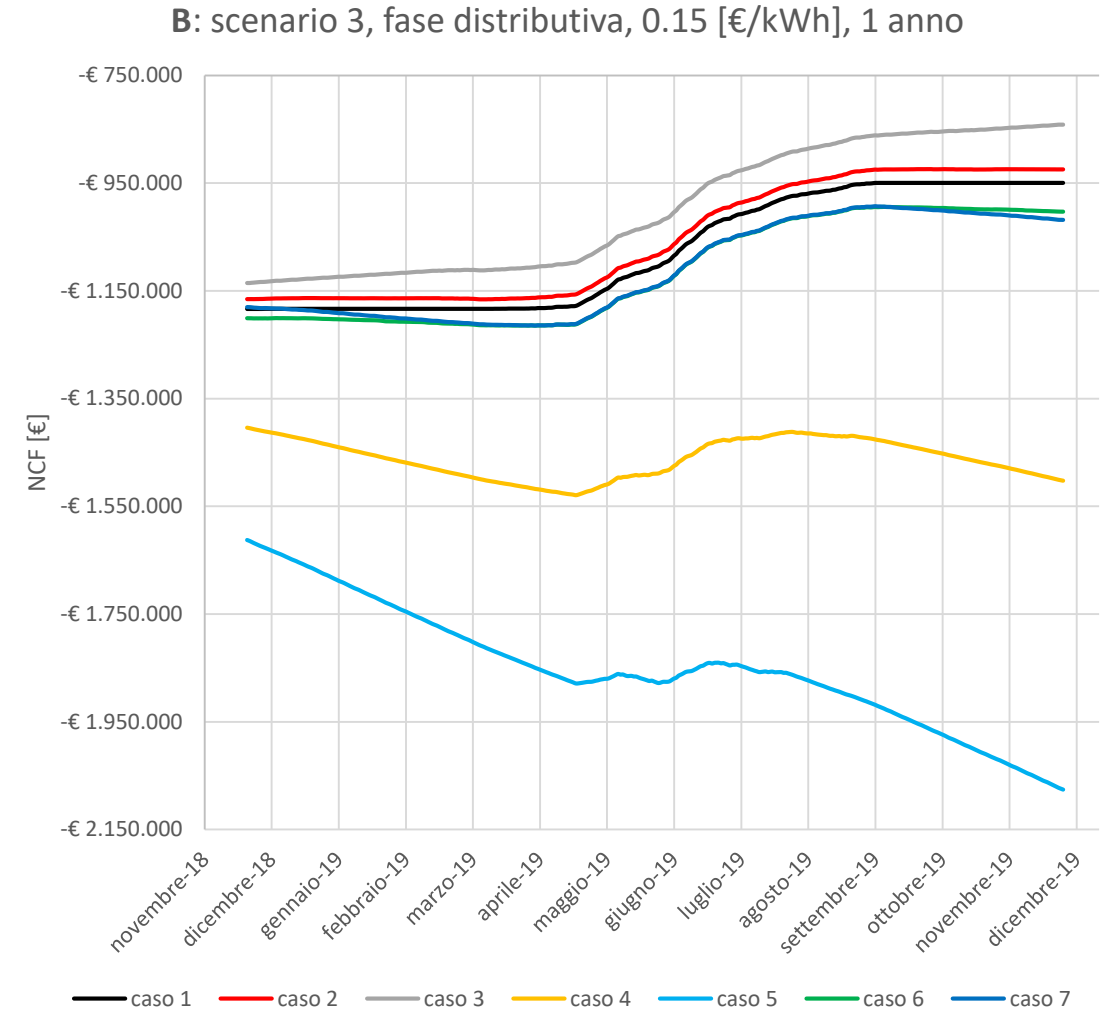
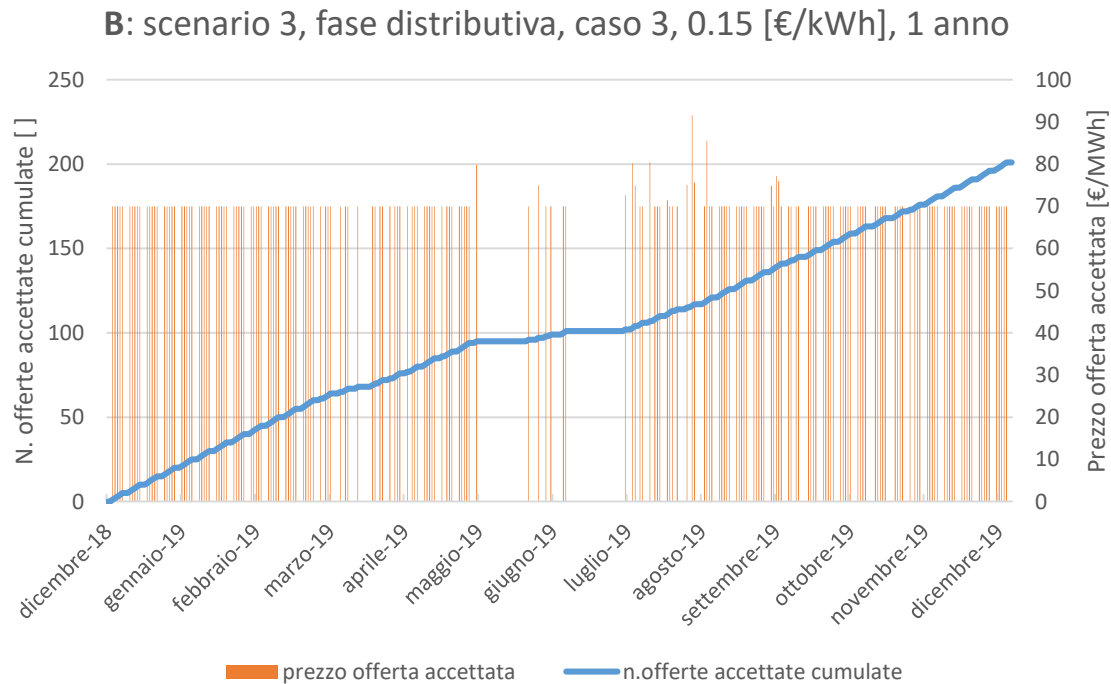


A: scenario 3, fase accumulativa, 0.15 [€/kWh], 1 anno



Si definisce **caso base** quello che possiede i seguenti due

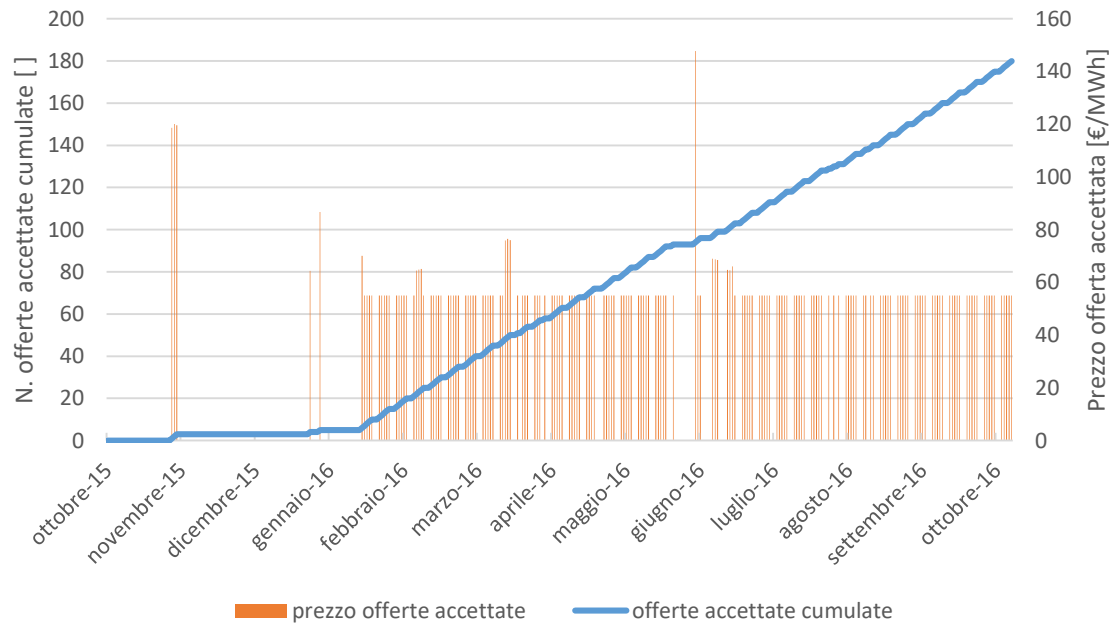
- parametri:
- *Costo corrente elettrica: 0,15 [€/kWh]*
 - *Durata contratto: 1 [anno]*



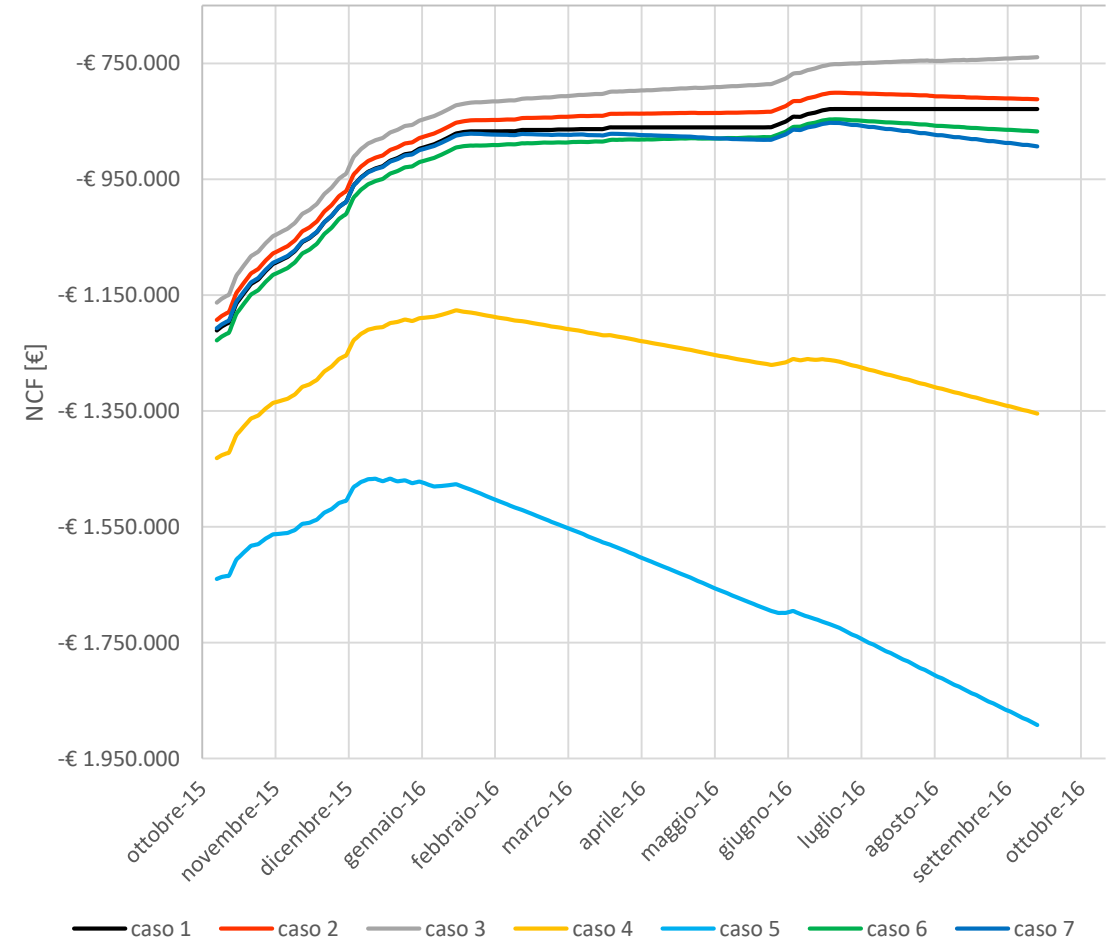
Si definisce **caso base** quello che possiede i seguenti due

- parametri:
- *Costo corrente elettrica: 0,15 [€/kWh]*
 - *Durata contratto: 1 [anno]*

C: scenario 2, fase trend, caso 3, 0.15 [€/kWh], 1 anno

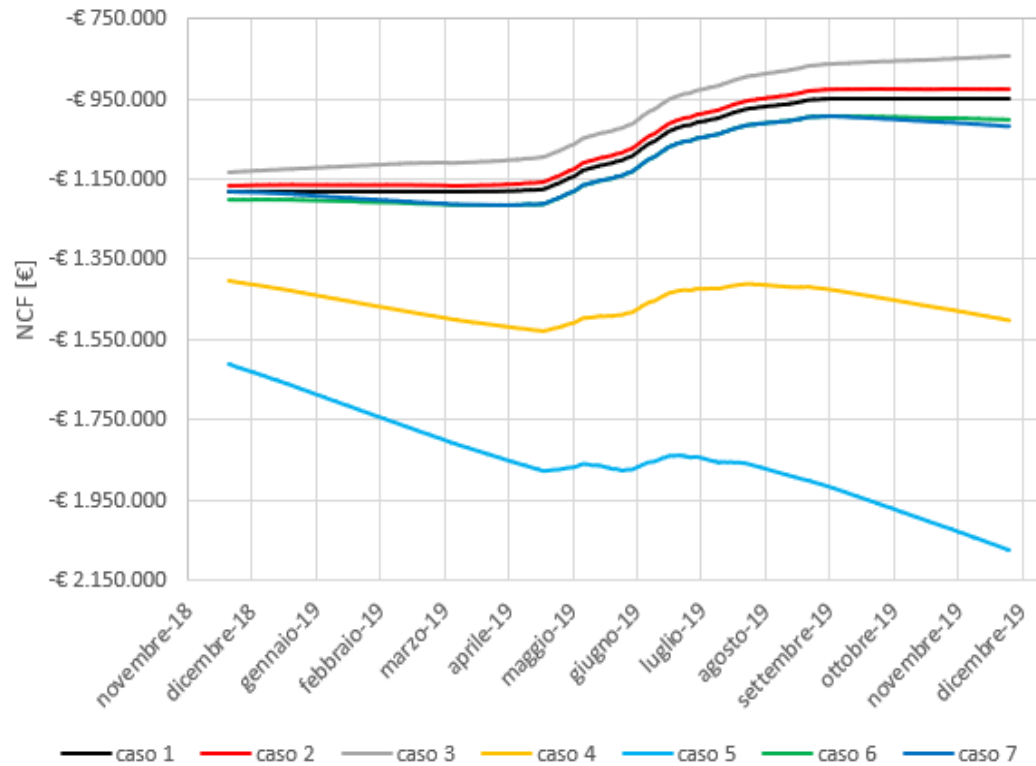


C: scenario 2, fase trend, 0.15 [€/kWh], 1 anno

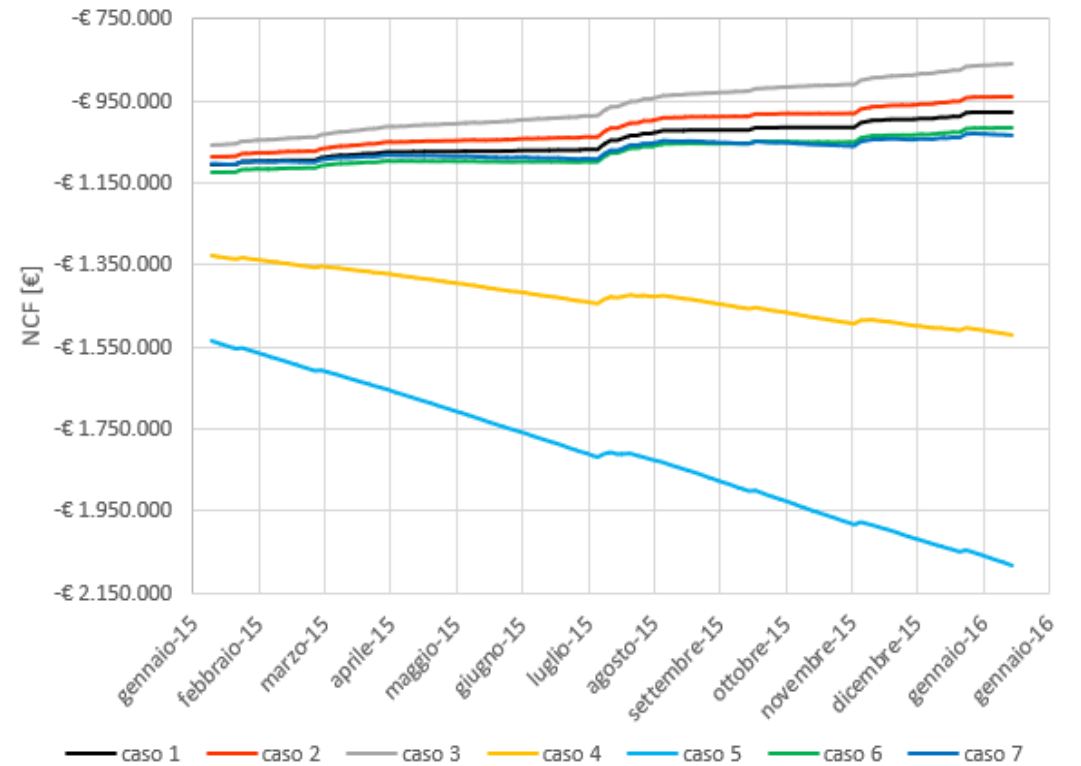


Confronto tra diversi scenari:

B: scenario 3, fase distributiva, 0.15 [€/kWh], 1 anno

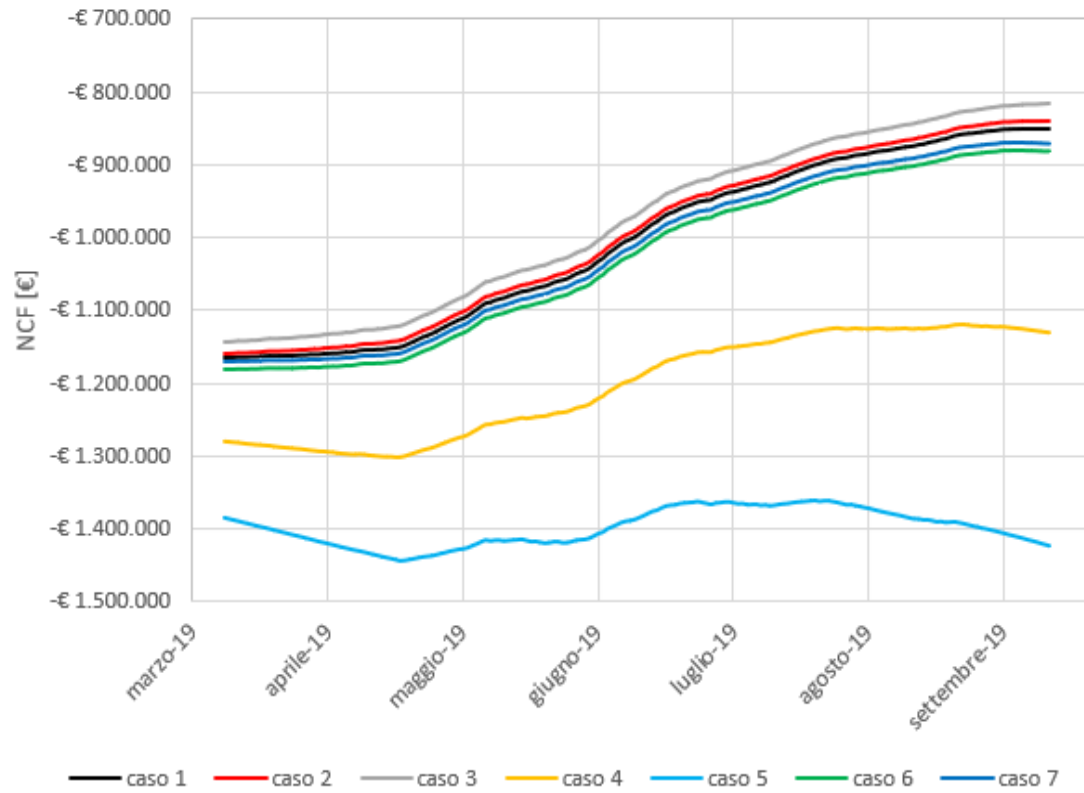


F: scenario 2, fase distributiva, 0.15 [€/kWh], 1 anno

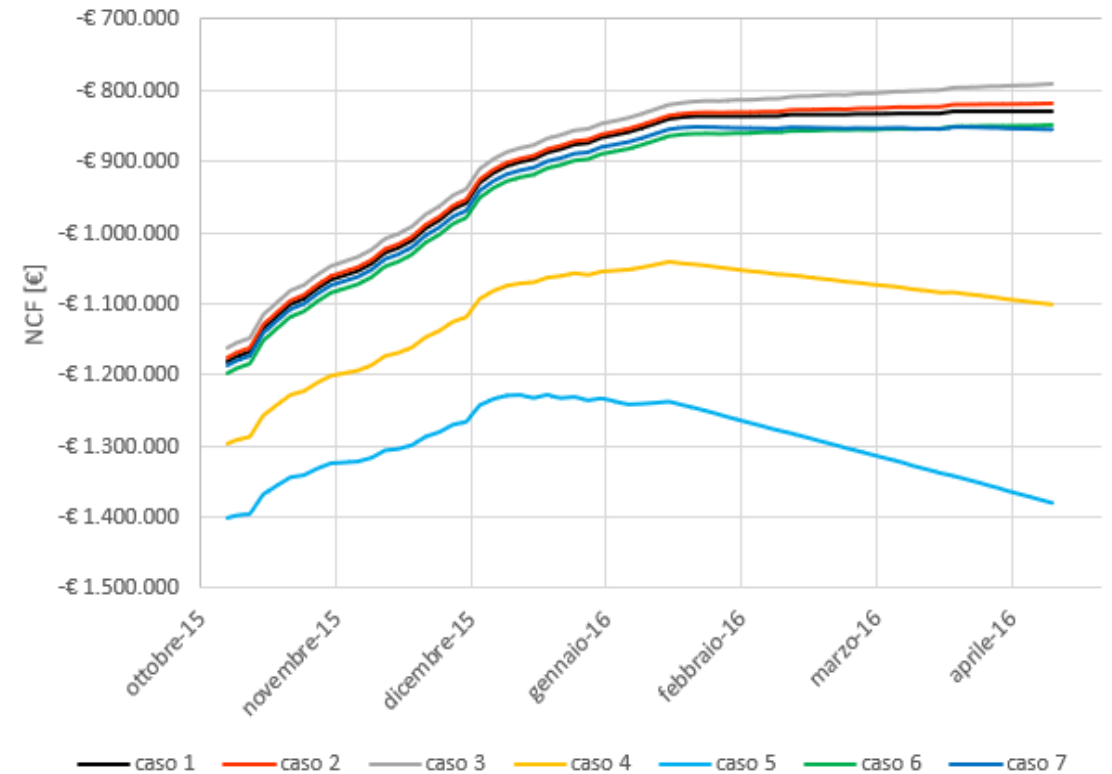


Confronto tra diversi scenari:

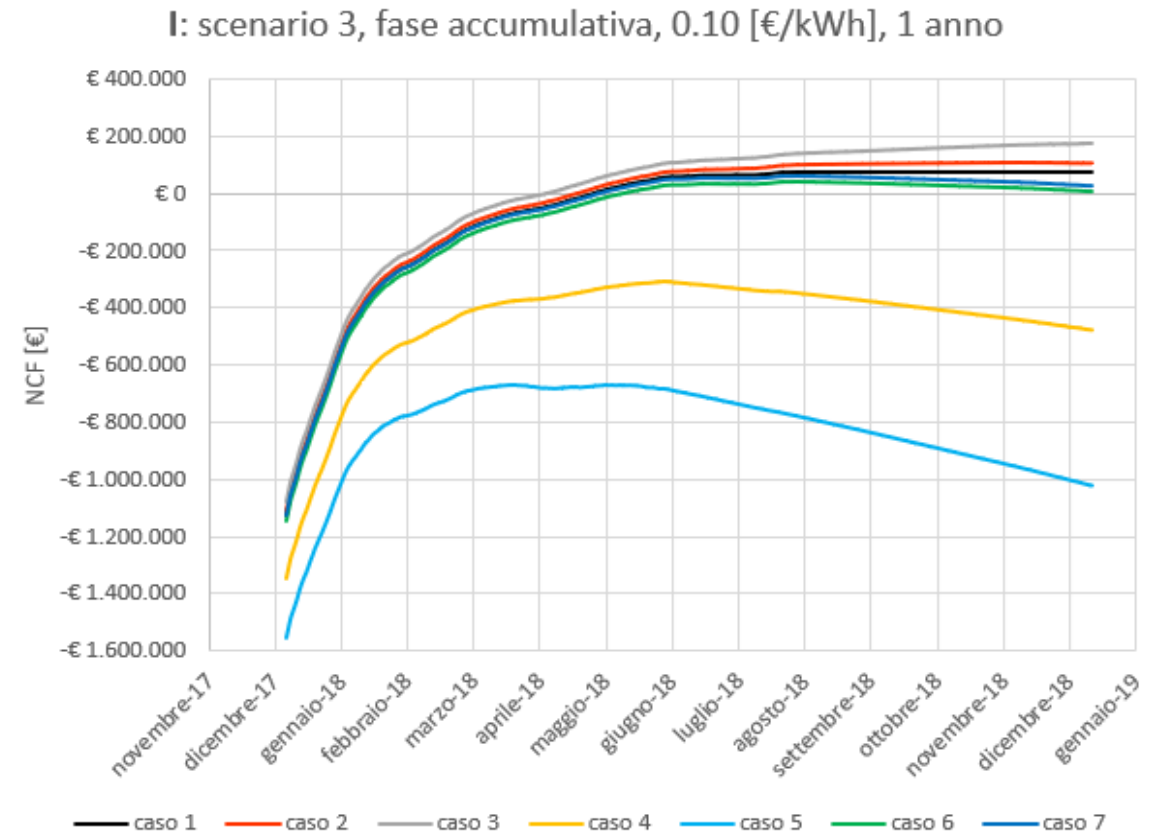
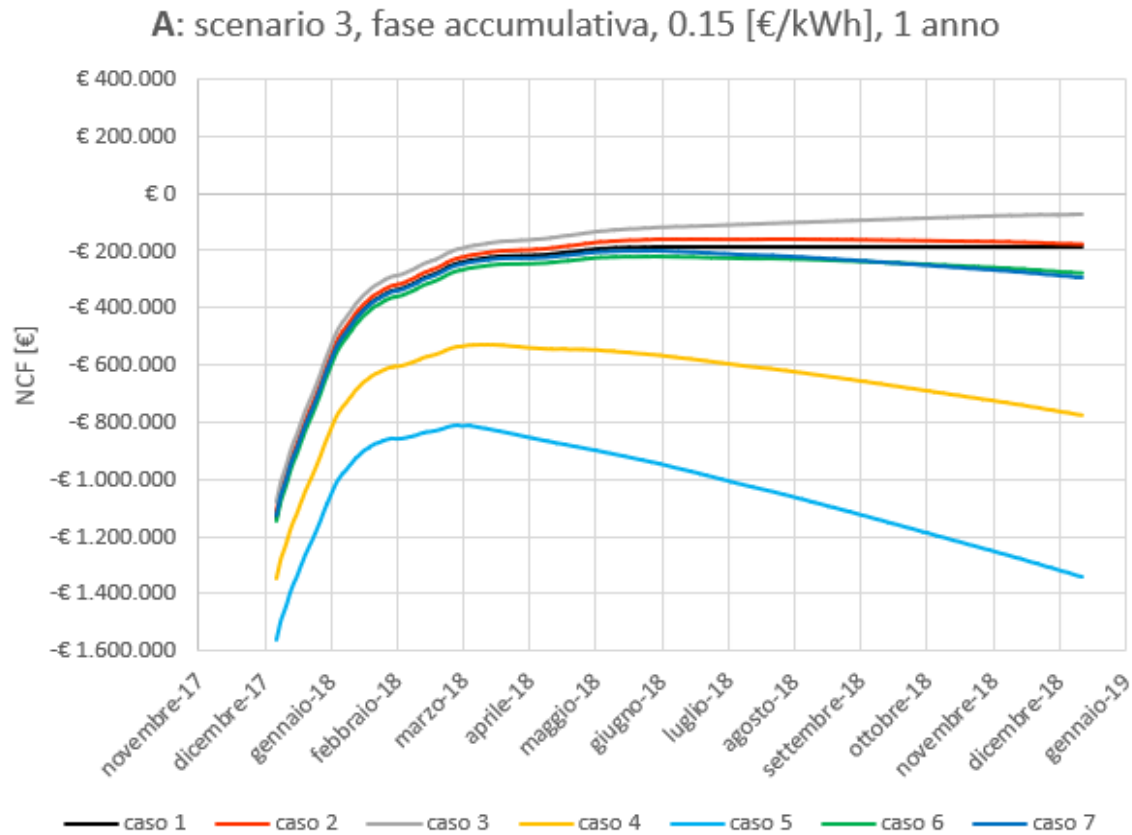
G: scenario 3, fase trend, 0.15 [€/kWh], 6 mesi



H: scenario 2, fase trend, 0.15 [€/kWh], 6 mesi

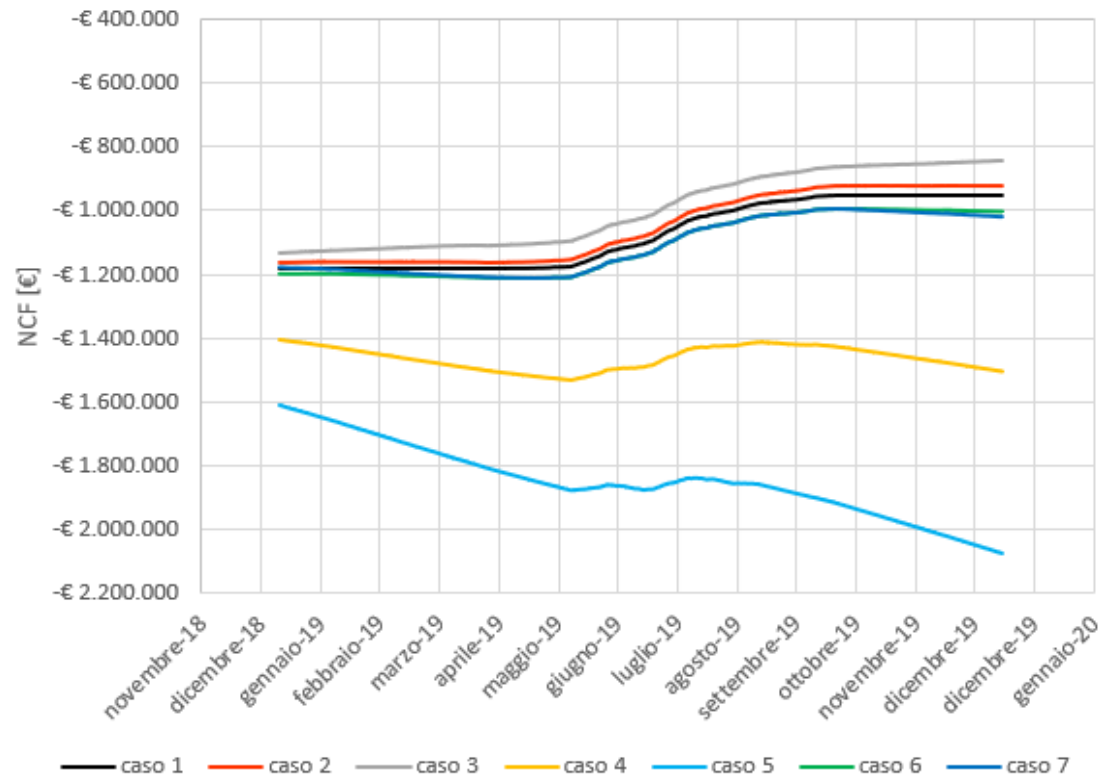


Confronto tra diversi prezzi di energia:

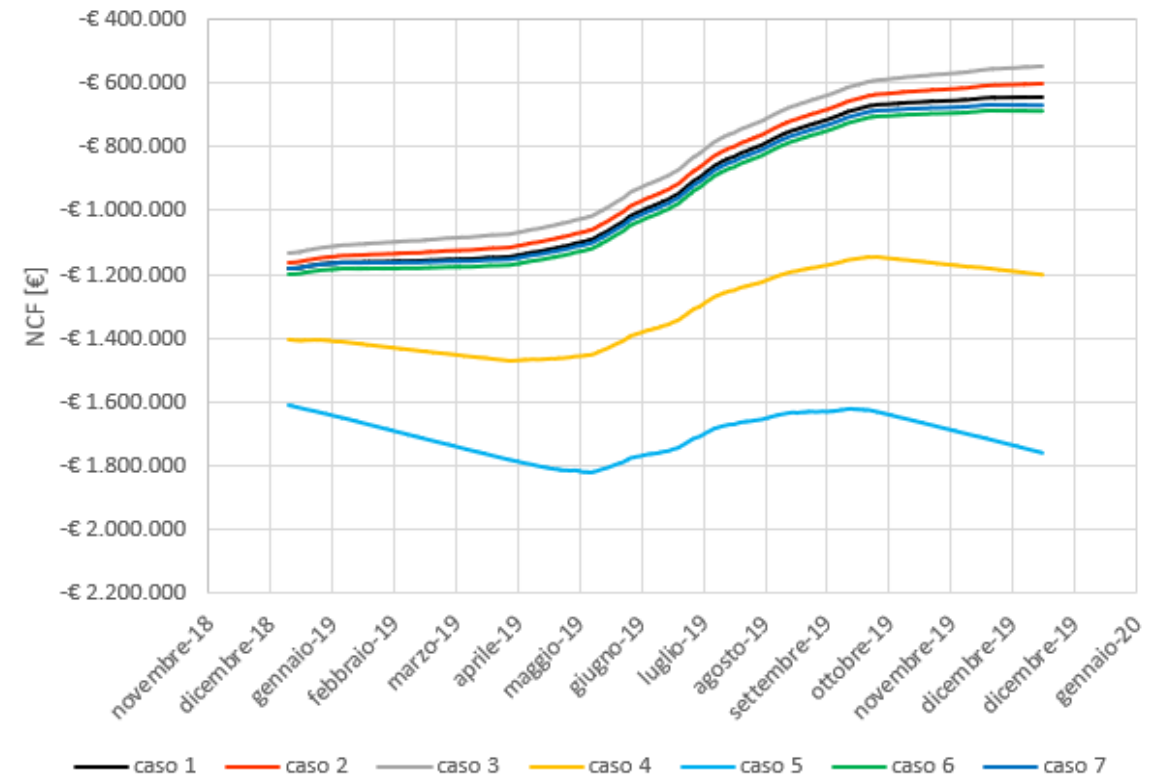


Confronto tra diversi prezzi di energia:

B: scenario 3, fase distributiva, 0.15 [€/kWh], 1 anno



L: scenario 3, fase distributiva, 0.10 [€/kWh], 1 anno



Per la zona nord del mercato elettrico italiano, nel contesto del progetto pilota UVAC, risulta che:



- Servizio di regolazione economicamente vantaggioso per il Data Center di mining (NO GE e UPS)
- Servizio di regolazione conveniente anche con profitti negativi, durante lo spegnimento delle apparecchiature di mining
- Caso sempre più conveniente: fornitura del servizio per 6 ore
- Beneficio reciproco tra Data Center di mining con servizio di regolazione e rete elettrica



- Utilizzo del Data Center di mining, ai prezzi attuali (0,10 -0,15 €/kWh), non assicura il ritorno economico; eventuali nuovi imprenditori che vogliano investire in questo settore sono inibiti dai rischi che ingenti investimenti a queste condizioni porterebbero

La fornitura di questa nuova risorsa di flessibilità risulta quindi, alle condizioni attuali, non percorribile

THANKS FOR YOUR
ATTENTION

