

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA ELETTRICA

TESI DI LAUREA

LE OPZIONI REALI PER LA VALUTAZIONE DEGLI INVESTIMENTI NELLE FONTI RINNOVABILI: IL CASO DEL FOTOVOLTAICO

RELATORE: Prof. Arturo Lorenzoni

LAUREANDO: Amedeo Moratelli

ANNO ACCADEMICO 2012/2013

OBIETTIVI:

Lo scopo della tesi è quello di investigare il funzionamento, la natura e lo stato dell'arte delle Opzioni Reali (da qui in poi semplicemente OR) in confronto al metodo del Valore Attuale Netto (VAN o NPV). La tesi si è concentrata sull'utilizzo delle OR nel mondo delle fonti di energia rinnovabili (da qui in poi RES), applicate nello specifico alla produzione di energia elettrica da fotovoltaico nel nord-est d'Italia tramite l'utilizzo di un foglio elettronico.

L'elaborato si divide in tre parti:

1. parte introduttivo-discorsiva: introduzione sulle odierne tecniche di analisi degli investimenti e dei principi alla base delle OR. Considerazioni sullo stato attuale del fotovoltaico e del mercato dell'energia rinnovabile. Segue approfondita presentazione teorica delle OR.
2. parte applicativa: descrizione e utilizzo di uno specifico modello basato su metodologia VAN e OR, creato utilizzando un foglio di calcolo. Osservazione dell'incidenza delle tecniche studiate, con costruzione di semplici modelli applicativi.
3. parte conclusiva: analisi potenzialità e criticità del modello utilizzato. Sintesi e analisi delle potenzialità delle tecniche OR applicate nel confronto al metodo VAN. Proposta di metodologia OR di analisi economica ottimale ai fini di investimenti. Riflessioni critiche sui possibili miglioramenti futuri. Considerazioni conclusive sulla necessità di sviluppo e utilizzazione delle Opzioni Reali alla visione aziendale.

Indice

I	TEORIA DELLE OPZIONI REALI	6
1	INTRODUZIONE	7
2	IL FOTOVOLTAICO	14
3	OPZIONI REALI	23
3.1	OPZIONI FINANZIARIE	23
3.2	OPZIONI REALI	24
3.3	APPLICAZIONE PRATICA DELL'ANALISI TRAMITE OPZIONI REALI	25
3.4	TIPI DI OPZIONI REALI	32
3.5	OPZIONI REALI NEL FOTOVOLTAICO	33
3.5.1	Opzione Reale espansione / contrazione	33
3.5.2	Opzione Reale abbandono	38
3.5.3	Opzione Reale differire	40
3.5.4	Opzione Reale prolungamento	40
3.5.5	Opzione Reale ricerca (e/o sviluppo)	43
II	FOGLIO DI CALCOLO	51
4	FOGLIO BASE	52
4.1	DATI IN INGRESSO	52
4.1.1	Dati relativi all'impianto	52
4.1.2	Dati relativi al carico	54
4.1.3	Dati relativi al valore dell'elettricità	56
4.2	DATI IN USCITA	61
4.2.1	Foglio "Indici economici"	61
4.2.2	Foglio "Risparmi"	63
4.3	CASI REALISTICI	66
4.3.1	Impianto industriale di grandi dimensioni	66
4.3.2	Impianto industriale di medie dimensioni	69
4.3.3	Impianto industriale di piccole dimensioni	72
5	FOGLI ESPANSIONE OR	74
5.1	FOGLIO BASE OR	74
5.2	FOGLIO OR ABBANDONO	77
5.3	FOGLIO OR ESPANSIONE/CONTRAZIONE	77
5.4	FOGLIO OR PROLUNGAMENTO	78
5.5	FOGLIO OR DIFFERIRE	78
5.6	CASI REALISTICI	79
5.6.1	OR abbandono	79
5.6.2	OR espansione	80
5.6.3	OR contrazione	84
5.6.4	OR prolungamento	92
5.6.5	OR differire	92

III	CONCLUSIONI	97
6	CONCLUSIONI	98
6.1	ANALISI TRAMITE FOGLIO ELETTRONICO DELLE SINGOLE OR	98
6.2	PROPOSTA DI ANALISI APPROFONDATA TRAMITE OR	100
6.3	SVILUPPI E UTILIZZI FUTURI DELLE OR	101

Parte I

TEORIA DELLE OPZIONI REALI

Capitolo 1

INTRODUZIONE

Di fronte ad una opportunità di investimento o dinanzi alla necessità di soddisfare un proprio bisogno, fin dalla notte dei tempi ci si interroga su come sia meglio valutare le opportunità a nostra disposizione. Su come far sì che il nostro investimento sia il migliore realizzabile ovvero su come soddisfare il nostro bisogno con il minor impiego di denaro, fatica.

Con la nascita dell'economia tale ricerca è diventata di fatto una scienza, basata su principi fondamentali, metodologie consolidate e universalmente riconosciute come valide. Una scienza caratterizzata, tuttavia, anche da scuole e da teorie di pensiero diverse e, talvolta, contrastanti; che partendo dai medesimi assiomi investigano i problemi conosciuti dando soluzioni non sempre convergenti.

Senza ripercorre la storia dell'economia, che dall'antichità ai giorni nostri ha vissuto un continuo sviluppo, si può affermare tranquillamente che con l'avvento dell'informatica e della globalizzazione si è entrati in una nuova Era, anche in riferimento alle tecniche d'analisi degli investimenti. Gli strumenti informatici, sempre più potenti, permettono di realizzare quantitativi di calcoli e simulazioni un tempo impensabili. Le attuali quantità di dati a disposizione del management rendono le previsioni future sempre più affidabili e la competenza degli addetti ai lavori è estremamente aumentata. Ciò ha permesso che concetti appena 100 anni fa troppo complicati da valutare, come il valore economico del tempo, da cui deriva il concetto di attualizzazione e la metodologia VAN, sono ormai diventati la normalità per qualunque responsabile economico d'azienda. Per meglio comprendere come le metodologie di analisi di un investimento siano in continua evoluzione si ricordi che, come documentato dallo studio di L.J.Gitman e J.Forrester [1], nel 1977 solo per circa il 50% delle aziende intervistate il VAN rappresentava una metodologia utilizzata mentre ora è la metodologia alla base dell'analisi aziendale e si può realisticamente supporre che il 100% delle aziende ne faccia uso.

Tuttavia, nemmeno il VAN può essere considerato perfetto. Molte sono le limitazioni legate all'utilizzo esclusivo del VAN, per tale ragione vengono affiancati numerosi altri metodi o sue varianti (TIR, metodo Monte Carlo ecc ecc..). Metodi che riconoscendo nel VAN determinate criticità si propongono come alternative o espansioni in grado di migliorarlo e/o sostituirlo, contribuendo al continuo processo di perfezionamento ed evoluzione della metodologia d'analisi aziendale.

Fra queste si possono sicuramente annoverare le Opzioni Reali. La spiegazione dettagliata di tale metodologia sarà data nel seguito ma è bene introdurre fin da subito i concetti base su cui si fonda.

Può essere utile un semplice esempio:

ipotizziamo di poter investire 100.000€ (Inv) per costruire uno stabilimento che produrrà un bene che fra un anno, cioè quando lo stabilimento sarà operativo, potrà valere, in base all'andamento previsto del mercato, un massimo di 50.000€ (r_b) o un minimo di 10.000€ (r_c) ogni anno per 10 anni (n°_{anni}). Consideriamo per semplificazione un tasso di attualizzazione nullo e un'eguale probabilità (q) per i due scenari futuri. Il rendimento (VA) di tale progetto risulterà quindi essere 300.000€ e visto l'ammontare dell'investimento si avrà un VAN_1 di 200.000€ (figura 1.1).

$$R_b = r_b \cdot n^{\circ}_{anni} = 50.000 \cdot 10 = 500.000\text{€} \quad (1.1)$$

$$R_c = r_c \cdot n^{\circ}_{anni} = 10.000 \cdot 10 = 100.000\text{€} \quad (1.2)$$

$$\begin{aligned} VA &= R_b \cdot q + R_c \cdot (1 - q) \\ &= 500.000 \cdot 0,5 + 100.000 \cdot (1 - 0,5) = 300.000\text{€} \end{aligned} \quad (1.3)$$

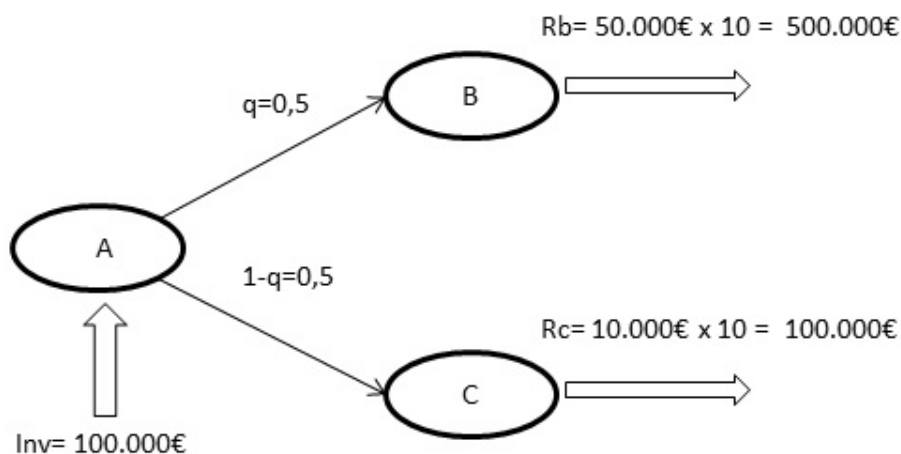


Figura 1.1: Albero binomiale

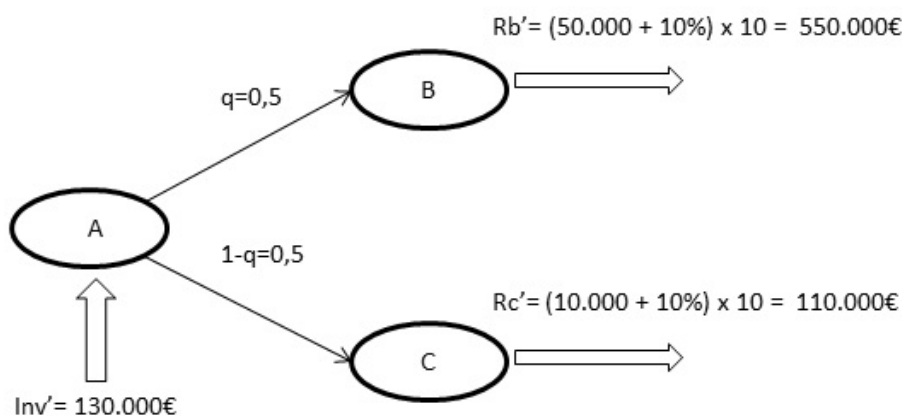


Figura 1.2: Nuovo albero binomiale

$$VAN_1 = VA - Inv = 300.000 - 100.000 = 200.000\text{€} \quad (1.4)$$

Ipotizziamo ora l'esistenza di una tecnologia che ci permette di produrre un 20% in più di bene, con il relativo rendimento maggiorato di un 10%.

Quindi i possibili ricavi futuri si alzerebbero a 55.000€ (r'_b), nel caso migliore, a 11.000€ (r'_c), nel caso peggiore, per un rendimento prevedibile (VA') di 330.000€. Si può quindi affermare che ha senso comprare tale tecnologia solamente se costa meno di 130.000€ (Inv'). A tale cifra infatti si avrebbe un VAN_2 di 200.000€ come per l'investimento base che però necessita di un esborso iniziale minore (figura 1.2).

$$r'_b = r_b \cdot (1 + 0,1) = 50.000 \cdot (1 + 0,1) = 55.000\text{€} \quad (1.5)$$

$$r'_c = r_c \cdot (1 + 0,1) = 10.000 \cdot (1 + 0,1) = 11.000\text{€} \quad (1.6)$$

$$R'_b = r'_b \cdot n^{\circ} \text{anni} = 55.000 \cdot 10 = 550.000\text{€} \quad (1.7)$$

$$R'_c = r'_c \cdot n^{\circ} \text{anni} = 11.000 \cdot 10 = 110.000\text{€} \quad (1.8)$$

$$\begin{aligned} VA' &= R'_b \cdot q + R'_c \cdot (1 - q) \\ &= 550.000 \cdot 0,5 + 110.000 \cdot (1 - 0,5) = 330.000\text{€} \end{aligned} \quad (1.9)$$

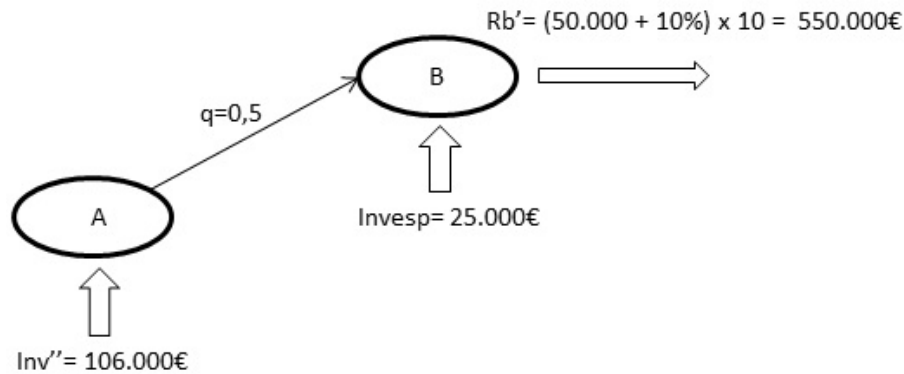


Figura 1.3: Singolo ramo caso a

$$VAN_2 = VA' - Inv' = 330.000 - 130.000 = 200.000\text{€} \quad (1.10)$$

Ipotizziamo ora, come molte volte accade nella realtà, che sia possibile anche ritardare la scelta di aumentare la produzione, acquistando una tecnologia che permette in un secondo momento l'aumento di produzione del 20%. Ipotizziamo che tale futuro aumento sia legato ad un'espansione del macchinario dal costo di 25.000€ (Inv_{esp}) e che la tecnologia che lo permetta costi 106.000€ (Inv'').

Appare chiaro come non convenga acquistare tale tecnologia suppletiva. Anche ipotizzando di realizzare subito l'espansione, la somma degli investimenti necessari supererebbe i 130.000€ rappresentanti il nostro valore limite.

$$Inv'' + Inv_{esp} = 106.000 + 25.000 = 131.000 > 130.000\text{€} \quad (1.11)$$

Si deve però sottolineare che nel caso di andamento del mercato positivo un aumento del 10% porterebbe un rendimento di 550.000€ (R'_b) anziché 500.000€ (R_b), per un sovra rendimento di 50.000€ (S_r). Valore di ben 19.000€ (S_g) maggiore dell'investimento necessario per produrre quel 10% in più (S_c) (figura 1.3).

$$S_c = (Inv'' + Inv_{esp}) - Inv = (106.000 + 25.000) - 100.000 = 31.000\text{€} \quad (1.12)$$

$$S_r = R'_b - R_b = 550.000 - 500.000 = 50.000\text{€} \quad (1.13)$$

$$S_g = S_r - S_c = 50.000 - 31.000 = 19.000\text{€} \quad (1.14)$$

Inoltre tale sovra costo di 31.000€ sarebbe motivato nel caso di scenario migliore anche prendendo la decisione di espandere la produzione dopo 1 anno, di fatto perdendo i 5.000€ di sovra guadagno relativi al solo primo anno (figura 1.4).

$$R_{bd} = R''_b + R_d = 55.000 \cdot (10 - 1) + 50.000 = 545.000\text{€} \quad (1.15)$$

$$S'_r = R_{bd} - R_b = 545.000 - 500.000 = 45.000\text{€} \quad (1.16)$$

Il sovra guadagno in tale caso si abbasserebbe a 14.000€ ma rimarrebbe di valore positivo.

$$S'_g = S'_r - S_c = 45.000 - 31.000 = 14.000\text{€} \quad (1.17)$$

Il VAN però ci insegna a considerare tutto ciò alla luce del fatto che comunque esiste il 50% di chances di avere un prodotto dal valore di 10.000€.

In tale caso infatti l'opzione di ritardare la scelta non è sicuramente positiva, e ancora meno lo è nel caso tale scelta venga fatta addirittura passato il primo anno di produzione.

La possibilità di espansione, considerando entrambi i rami, porta ad una previsione di rendita (VA'') di 327.000€. A cui va sottratto l'investimento complessivo per un $VAN_3=196.000\text{€}$. Valore visibilmente minore del $VAN_1=200.000\text{€}$ (figura 1.5).

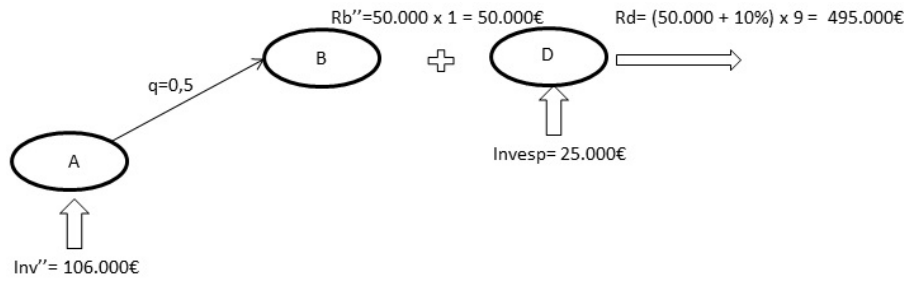


Figura 1.4: Singolo ramo caso b

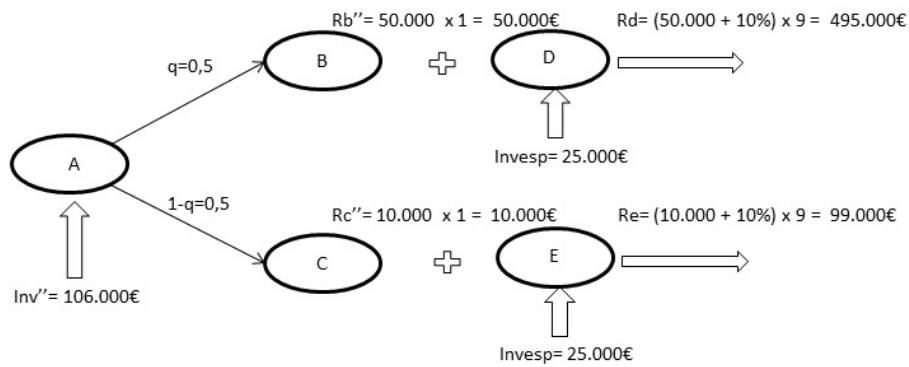


Figura 1.5: Albero binomiale con espansione nel secondo anno

$$R_{ce} = R_c'' + R_e = 11.000 \cdot (10 - 1) + 10.000 = 109.000\text{€} \quad (1.18)$$

$$\begin{aligned} VA'' &= R_{bd} \cdot q + R_{ce} \cdot (1 - q) \\ &= 545.000 \cdot 0,5 + 109.000 \cdot (1 - 0,5) = 327.000\text{€} \end{aligned} \quad (1.19)$$

$$VAN_3 = VA'' - (Inv'' + Inv_{esp}) = 327.000 - (106.000 + 25.000) = 196.000\text{€} \quad (1.20)$$

Seguendo tale semplice e riduttivo esempio si è già in grado di trovare la prima giusta obiezione che sta alla base delle OR: nella realtà, fra due anni, con il valore del bene di 10.000€, nessun management investirebbe i 25.000€ necessari all'aumento di produzione! Tale aumento porterebbe ad un maggior ricavo di soli 9000€, da cui una perdita complessiva (P) di 16.000€.

$$P = R_{ce} - Inv_{esp} - R_c = 109.000 - 25.000 - 100.000 = -16.000\text{€} \quad (1.21)$$

Quindi il VAN_3 è un valore errato. Si deve considerare l'aumento di produzione con relativo aumento di rendita e sovra costo solamente nel caso di valore del bene di 50.000€.

Il nuovo albero binomiale da cui ricavare il VAN dovrebbe essere composto da un costo iniziale sempre di 106.000€ ma da due scenari futuri basati su assunti diversi: nel caso migliore, prevedere la realizzazione dell'investimento di espansione e quindi anche l'ulteriore costo; nel caso peggiore, nessun ulteriore costo e un incasso atteso invariato (R_c). Il ricavo di tale investimento pesando le giuste probabilità (VA_{esp}) è quindi 310.000€, per un valore al netto dell'investimento (OR) di 204.000€. Risultato maggiore di tutti quelli calcolati in precedenza (figura 1.6).

$$\begin{aligned} VA_{esp} &= (R_{bd} - Inv_{esp}) \cdot q + R_c \cdot (1 - q) \\ &= (545.000 - 25.000) \cdot 0,5 + 100.000 \cdot (1 - 0,5) = 310.000\text{€} \end{aligned} \quad (1.22)$$

$$OR = VA_{esp} - Inv' = 310.000 - 106.000 = 204.000\text{€} \quad (1.23)$$

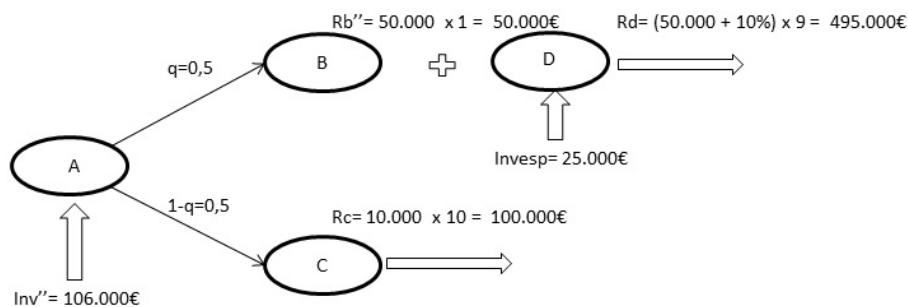


Figura 1.6: Albero binomiale OR

Il valore della possibilità di ritardare la scelta di espansione è dato dalla differenza fra i due futuri rendimenti previsti: quello senza possibilità di espansione e quello che prevede l'espansione nei soli casi in cui ciò conviene. Abbiamo quindi dimostrato che dobbiamo acquistare la tecnologia che ci permette di avere tale opzione anziché quella rigida, nel caso in cui la differenza fra il loro costo è meno di 10.000€ (*ValoreOR*).

$$\text{ValoreOR} = \text{OR} - \text{VA} = 310.000 - 300.000 = 10.000\text{€} \quad (1.24)$$

Quello che abbiamo appena fatto non è altro che applicare l'analisi con OR, nella fattispecie OR espansione, e 10.000€ è definito come il valore dell'opzione di espansione.

Il VAN, per sua stessa natura, non prevede la possibilità di alternative future. In tutti i rami di un albero analizzato tramite VAN si devono porre le stesse condizioni. Le opzioni reali invece si basano sul concetto che le decisioni future devono essere prese quando si è in possesso di maggiori informazioni, determinando il valore che la possibilità di acquisirle conferisce all'investimento. In altri termini si monetizza la possibilità del management di risolvere l'incertezza. Da tale semplice esempio si può capire come l'Opzione Reale non sia altro che un'espansione del VAN che basandosi sugli stessi principi, permette di valutare in maniera adeguata operazioni future erroneamente valutate tramite VAN.

Continuiamo, però, ad analizzare l'esempio. Tali calcoli ci mostrano anche come l'opzione di espansione ha sempre valore 0 o maggiore di 0. Infatti nel caso non sia conveniente espandere nemmeno con lo scenario migliore, si ritorna al valore di rendimento iniziale e nessun management farà mai una scelta che produce un rendimento minore. Quindi, vista la definizione del valore dell'opzione (formula 1.24) essa avrà sempre valore maggiore uguale a 0 e perciò essa, se presente, produrrà sempre un aumento di valore.

Tale meccanismo viene spesso indicato come un difetto delle Opzioni Reali, che vengono accusate di aumentare sempre e comunque il valore dell'investimento. Tuttavia, abbiamo dimostrato come ciò sia vero ma la critica corretta da porre è nei confronti del VAN che non tenendo conto delle opzioni future sottostima gli investimenti, mentre le OR ne tengono conto.

Tale concetto deve essere chiaro nella mente di un management che si interroga sull'utilizzo o meno delle OR. La vita di un investimento nella maggioranza dei casi è piena di opzioni. Opzioni che verranno esercitate o meno in funzione di conoscenze attualmente non possedute. Tuttavia ogni investimento non avrà le stesse opzioni future, perché tali opzioni sono determinate in primo luogo dalla natura dell'investimento. Ritornando al nostro esempio: la tecnologia 1 non prevede la possibilità di espansione, mentre la tecnologia 2 la prevede. Il maggior valore calcolato per la tecnologia 2 dalle OR non è imposto dall'analisi, ma deriva dalle caratteristiche della tecnologia analizzata, cioè dalla sua flessibilità. L'analisi tramite OR semplicemente ci permette di considerare tali vantaggi. Non si può affermare che stiamo aumentando il valore della tecnologia 2 semplicemente perché non lo stiamo facendo. Quello che stiamo facendo, tramite le OR, è di valutare la flessibilità riportandola ad un determinato e corretto valore economico.

Ben fissato nella mente tale concetto, andiamo ora a sottolineare come individuare le opzioni presenti non basti. Per applicare in maniera semplice l'analisi tramite OR si deve essere in presenza di un'opzione il cui rendimento futuro è relazionabile in maniera certa al valore che si considera come variabile del nostro investimento.

Torniamo al nostro esempio: noi sappiamo già determinare quanto maggior guadagno si avrà aumentando la produzione del 20%. La nostra analisi con OR ha senso nel momento in cui noi possiamo calcolare il valore corretto dell'opzione di espansione partendo dal valore ipotizzato del bene. Se il prezzo della tecnologia di espansione della produzione o il maggior rendimento dovuto all'aumento della produzione non fossero determinabili già da ora, ma fossero a loro volta legati all'andamento di un bene totalmente estraneo al nostro modello, le OR sarebbero

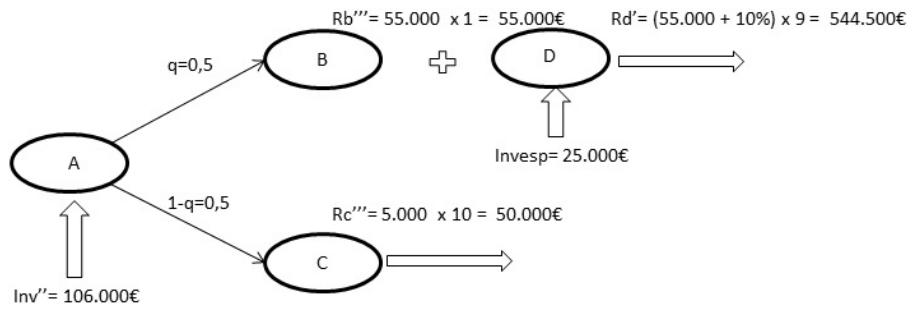


Figura 1.7: Nuovo albero binomiale OR

inutilizzabili. Nel nostro caso, infatti, i valori sono fissi (come per il costo di espansione) oppure legati al valore del bene (come nell'aumento di rendimento del progetto). In caso contrario si dovrebbe tornare a ragionare con combinazioni di possibili scenari futuri, il cui valore atteso sarebbe ricavato tramite un sistema basato sul concetto di probabilità e non più di opzioni possibili.

Detto questo le domande principali da porsi quando si deve determinare se utilizzare o meno le Opzioni Reali sono: l'investimento è dotato di flessibilità? Tale flessibilità mi permetterà di aumentare il rendimento dell'investimento? Se sì, tale flessibilità è legata ad un determinato valore? Posso prevedere l'andamento del predetto valore e il relativo aumento di rendimento sin da subito? Se le risposte sono tutte positive, l'OR è l'unica metodologia d'analisi che permette di prevedere il valore attuale, tenendo conto anche delle possibilità di scelta date dall'investimento.

Risottolineiamo in sintesi i concetti appena esposti, partendo tuttavia da un'altra critica spesso mossa alle OR. Le OR vengono accusate di aggiungere valore all'investimento premiando l'incertezza. Infatti, il valore dell'opzione aumenta con l'aumentare dell'incertezza.

Torniamo al nostro esempio: se i due valori possibili del bene avessero fra loro ancora più differenziale (valore minimo $r_c'' = 5.000€$ e valore massimo $r_b'' = 55.000€$), sicuramente l'OR varrebbe ancora di più (figura 1.7).

$$\begin{aligned}
 VA_{desp} &= (R_b''' + R_d' - Inv_{esp}) \cdot q + R_c''' \cdot (1 - q) \\
 &= (55.000 + 544.500 - 25.000) \cdot 0,5 + 50.000 \cdot (1 - 0,5) \\
 &= 312.250€
 \end{aligned}
 \tag{1.25}$$

$$VA_d = (r_b'' \cdot n^{\circ}_{anni}) \cdot q + r_c'' \cdot (1 - q) = (55.000 \cdot 10) \cdot 0,5 + 50.000 \cdot (1 - 0,5) = 300.000€
 \tag{1.26}$$

$$OR' = VA_{desp} - VA_d = 312.250 - 300.000 = 12.250€
 \tag{1.27}$$

Tale effetto non deve essere visto come una distorsione provocata dall'applicazione delle OR poiché realmente, l'opzione di aumentare la produzione aumenta di valore, e, quindi, giustamente se ne deve tener conto! La corretta critica da porre è che un aumento dell'incertezza provoca una divaricazione della forbice tra caso peggiore e migliore. Nemmeno il VAN è estraneo a tale effetto, e le OR pesano tale effetto utilizzando le stesse regole e lo stesso metodo del VAN. Come già più volte detto, le OR semplicemente utilizzano l'incertezza per meglio considerare la flessibilità dell'investimento. Non premiano l'incertezza, ma premiano la capacità futura del management di saper utilizzare a proprio favore la nuova configurazione raggiunta. Configurazione non inventata dalle OR ma esistente data l'incertezza intrinseca all'investimento.

Proviamo ora a dimostrare come l'ambito dell'energia rinnovabile e nella fattispecie il fotovoltaico italiano, abbiano le caratteristiche adeguate all'analisi tramite OR. Detto in altre parole: le risposte alle domande precedenti sono tutte positive?

Ricapitoliamole:

l'investimento è dotato di flessibilità? Tale flessibilità mi permetterà di aumentare il rendimento dell'investimento? Se sì, tale flessibilità è legata ad un determinato valore? Posso prevedere l'andamento del predetto valore e il relativo aumento di rendimento sin da subito?

Sicuramente nel fotovoltaico esiste un valore predominante dotato di incertezza: il valore dell'elettricità prodotta. La capacità di prevedere il predetto valore è sicuramente un problema, la letteratura è piena di tentativi e nessuno è mai riuscito a farlo in maniera assoluta. Questo però è un dilemma che l'investitore interessato al fotovoltaico si trova ad avere qualunque sia il metodo di analisi scelto e, d'altra parte, qualunque metodo scelto

gli impone l'obbligo di fissare una determinata incertezza sul valore futuro dell'elettricità e assumersi il rischio che tale incertezza sia errata. Essendo il focus di tale tesina quello di testare le OR e non di individuare il metodo migliore per determinare l'incertezza futura del valore dell'elettricità, affermiamo che tale valore sia da noi già stato calcolato e che il management accetti il rischio ad esso collegato.

Trovato che il valore dell'elettricità prodotta sarà il nostro bene variabile, è possibile individuare delle modifiche che siano legate a tale valore? O ancora, esistono delle opzioni che sono determinabili già ora in maniera sicura, qualunque sia il valore futuro dell'energia?

A queste domande si può velocemente rispondere che sicuramente l'opzione di espansione vista nel nostro esempio può portare un aumento di valore già calcolabile attualmente. Se si ipotizza il valore futuro dell'energia prodotta basterà aumentarne il valore in proporzione all'aumento di quantitativo prodotto. In secondo luogo si può affermare che esiste una qualche opportunità di stipulare accordi legati all'esistenza di un impianto fotovoltaico che in futuro daranno il diritto di accedere a predeterminabili guadagni.

Capitolo 2

IL FOTOVOLTAICO

Con impianto fotovoltaico si intende l'insieme di tecnologie atte a trasformare l'energia solare in energia elettrica sfruttando l'effetto fotoelettrico. La base di un impianto tradizionale è formata da:

- uno o più pannelli solari collegati fra loro;
- un sistema di sostegno dei pannelli;
- un inverter atto alla trasformazione dell'energia elettrica per renderla compatibile con la rete, nel caso di impianto collegamento alla rete, o con il tipo di utenza, nel caso di impianto in isola;
- un sistema di protezione elettrico per assicurare la salvaguardia della rete, in caso di guasto nell'impianto, e di salvaguardia dell'impianto, in caso di guasto nella rete;
- un sistema di misura dell'energia prodotta e, in base all'utilizzo previsto, della quantità di elettricità autoconsumata dal proprietario dell'impianto e/o della quantità immessa in rete;
- (facoltativo) un sistema atto all'immagazzinamento dell'energia prodotta provvisto di idonei sistemi di protezione e misura.

Una volta costruito, l'impianto non prevede possibilità di regolazioni del quantitativo di energia prodotto annualmente. Esso sarà dato dalla quantità di energia solare ricevuta annualmente e dalla capacità del pannello di convertirla in energia elettrica. L'energia solare ricevuta da un singolo pannello viene ipotizzata sulla base della posizione geografica, delle caratteristiche climatiche del luogo e dell'esposizione solare specifica del pannello. Il valore ricavato è considerato mediamente costante durante tutta la vita dell'impianto.

La capacità di conversione del singolo pannello, invece, è un valore garantito dal costruttore, il quale solitamente dichiara un leggero deterioramento di circa lo 0,5% annuo.

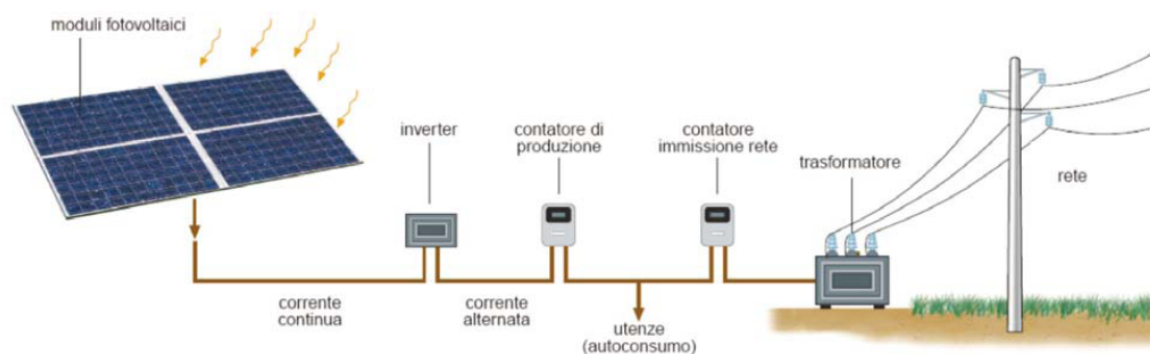


Figura 2.1: Schema base di un impianto fotovoltaico

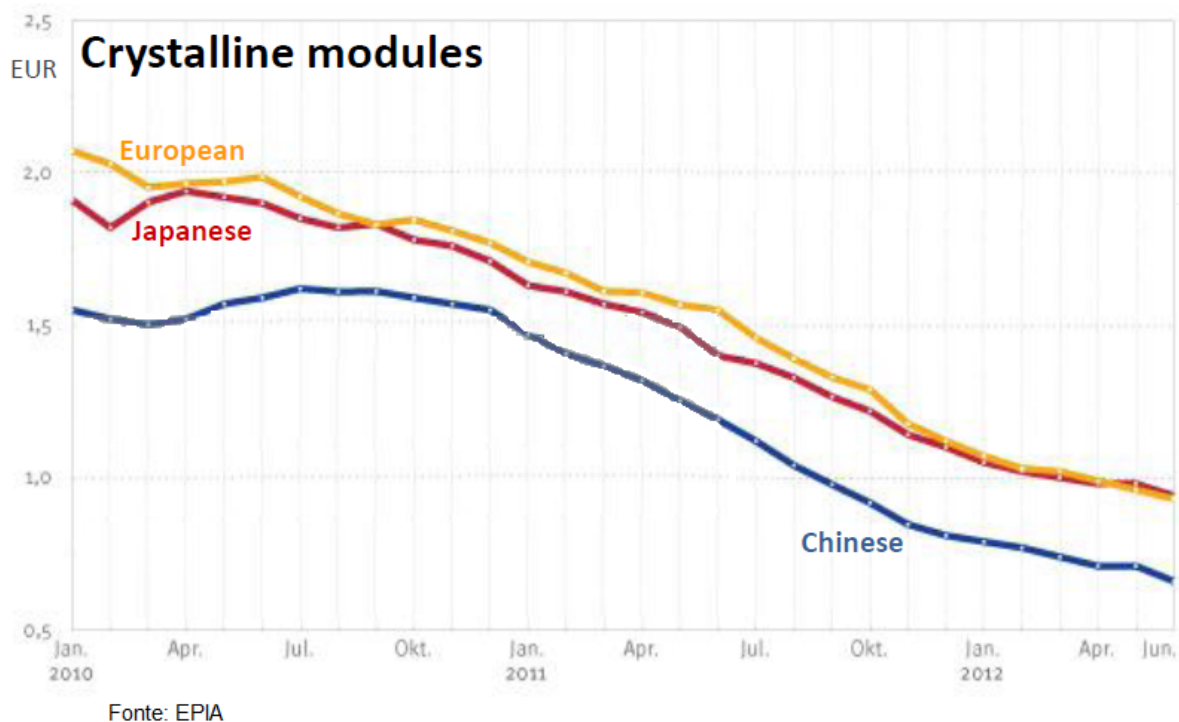


Figura 2.2: Andamento prezzo del solo pannello FV dal 2010

Altro valore garantito è la durata del pannello fotovoltaico che, attualmente, si aggira sui 20-25 anni, mentre per l'inverter si garantisce una durata di circa 15 anni. I restanti componenti¹ hanno garanzie che variano da fornitore a fornitore ma la spesa a loro dedicata rappresenta circa il 5-20% in base alla taglia dell'impianto.

Quindi, durante i tempi assicurati dai fornitori dei materiali, l'unico costo aggiuntivo è dato dalle spese relative alla normale manutenzione e assicurazione, cioè la verifica ad opera di tecnici specializzati dello stato dell'impianto, con eventuale sostituzione dei pannelli o dei sistemi ausiliari accidentalmente danneggiati.

La realizzazione e gestione di un impianto fotovoltaico necessita di un esborso economico concentrato quasi esclusivamente all'inizio del progetto. Esborso relativo all'acquisizione del materiale e, nel caso sia necessario, del terreno su cui installarlo. Nell'analisi di un investimento fotovoltaico è comune, perciò, considerare il costo dell'impianto e i costi di assicurazione e manutenzione, direttamente proporzionale al costo dei pannelli e per effetto dell'economie di scala anche della taglia dello stesso.

Di seguito riportiamo alcuni andamenti storici e previsioni future dei costi del fotovoltaico (figure 2.2 e 2.3), l'andamento del costo dell'energia in Italia (figure 2.4 e 2.5) e dell'irraggiamento in Italia (figure 2.7, 2.8 e 2.6).

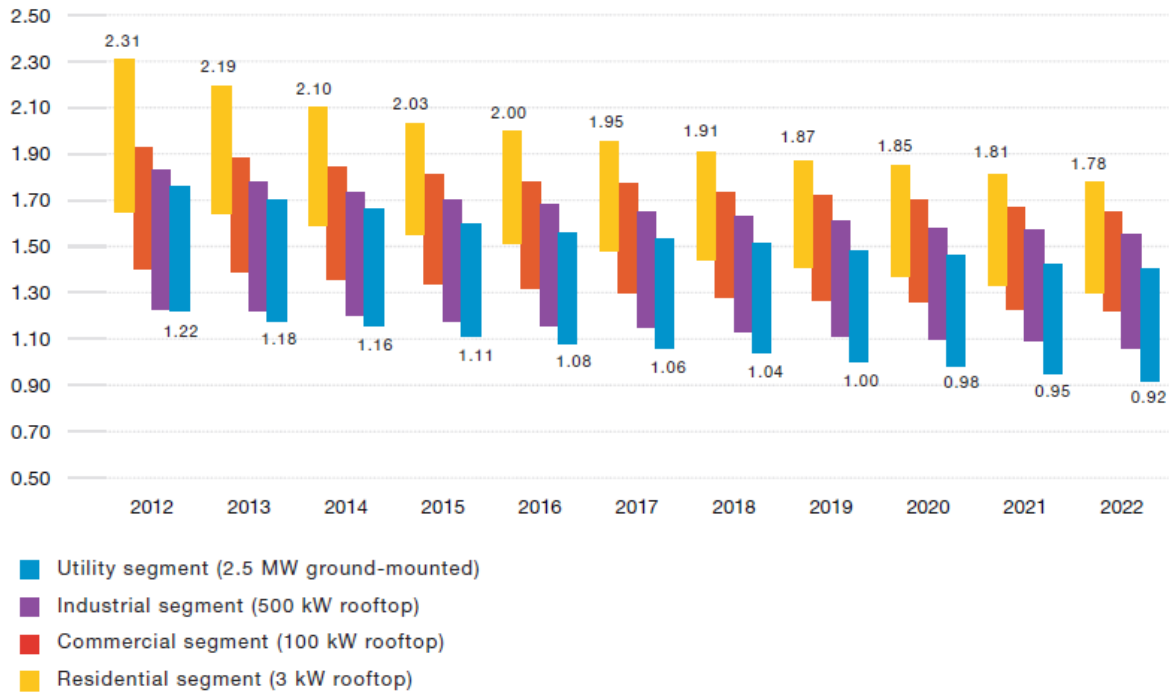
Come visibile il costo del fotovoltaico è diminuito molto in questi anni e ciò grazie alle sostanziose politiche economiche di sostegno perseguite nei confronti del fotovoltaico.

Politiche di sostegno iniziate sin dal c.d. protocollo di Kyoto, ma che hanno registrato un vero e proprio boom nell'ultimo lustro, a seguito del c.d. accordo 20-20-20, sottoscritto dai paesi membri dell'UE. Secondo il sopramenzionato accordo i Paesi europei sono vincolati al raggiungimento, entro il 2020, di un valore di energia prodotta da fonte rinnovabile del 20%. Il recepimento di tali vincoli ha portato in Italia all'emanazione di un programma incentivante: i tanto discussi conti energia. Il consistente valore di tali incentivi e la totale mancanza di una soglia massima di spesa o di un qualche meccanismo di supervisione, abbinato ad un costo del fotovoltaico che negli ultimi anni è letteralmente precipitato, hanno creato le perfette condizioni per l'esplosione del settore. Sono qui di seguito riportati i grafici riguardanti l'installazione annua in Italia e in Europa di fotovoltaico (figure 2.9 e 2.10).

Si deve comunque osservare come, in tutto il mondo, tale settore ha registrato un aumento esponenziale (figura 2.11).

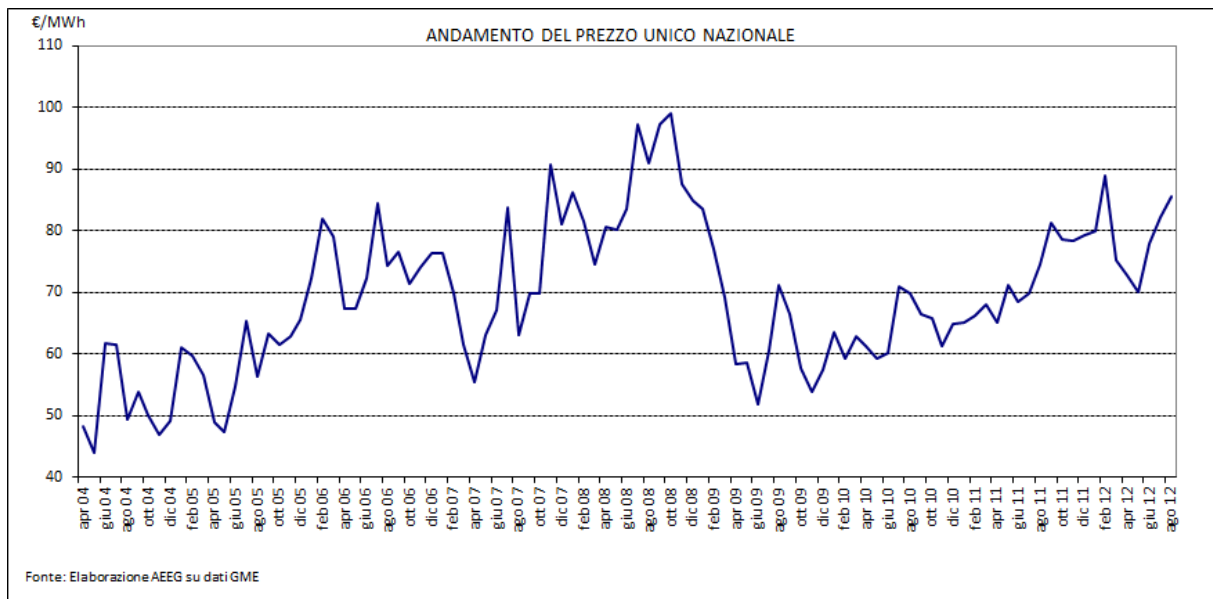
¹In tale categoria non rientra il sistema di accumulo che è caratterizzato da esborsi ingenti che variano molto in base al tipo, la taglia e all'utilizzo previsto. Vista la sua natura opzionale è praticamente considerabile come un investimento a se stante rispetto all'impianto fotovoltaico.

Scenarios for future PV system prices evolution (€/W)



source: EPIA, 2012

Figura 2.3: Previsione costo installazione FV.



Fonte: Elaborazione AEEG su dati GME

Figura 2.4: Andamento prezzo del prezzo unico nazionale dell'energia elettrica.

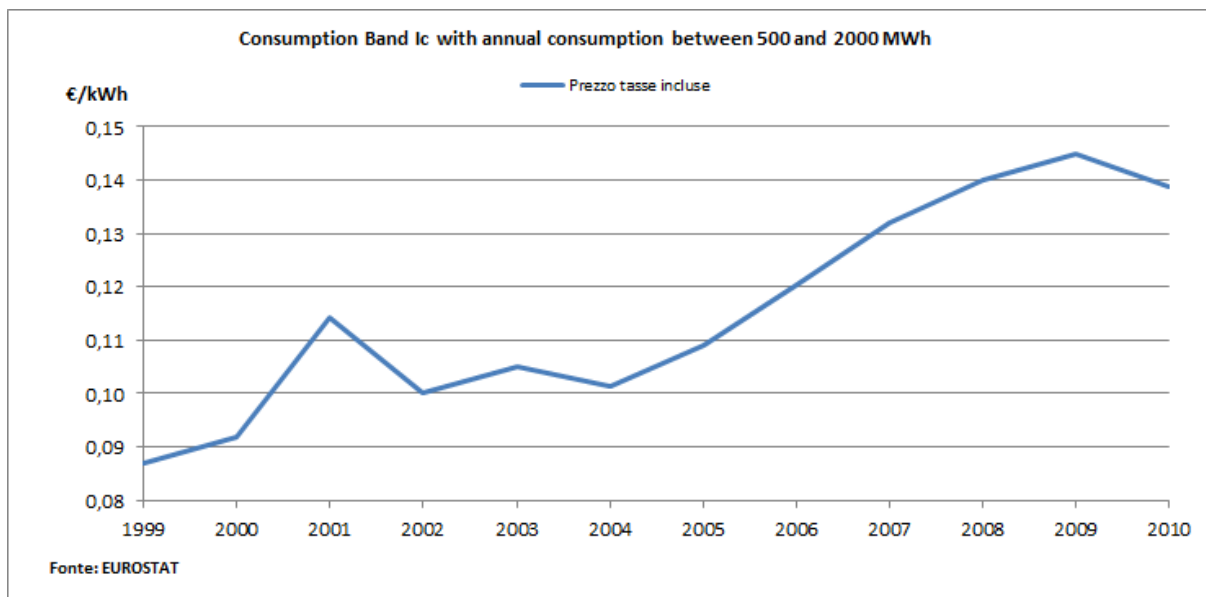


Figura 2.5: Andamento prezzo elettricità nel libero mercato.

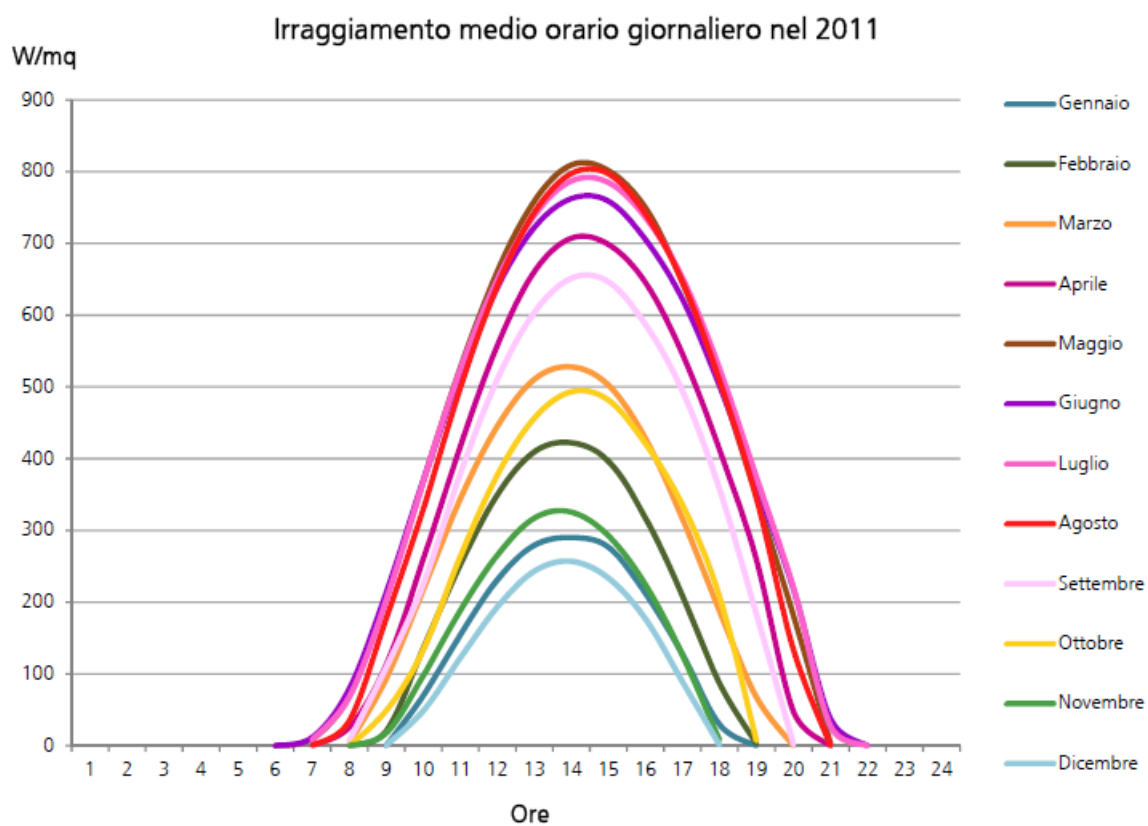


Figura 2.6: Irraggiamento medio orario per mese nel 2011 in Italia.

Irraggiamento solare medio del periodo 1981 - 2000

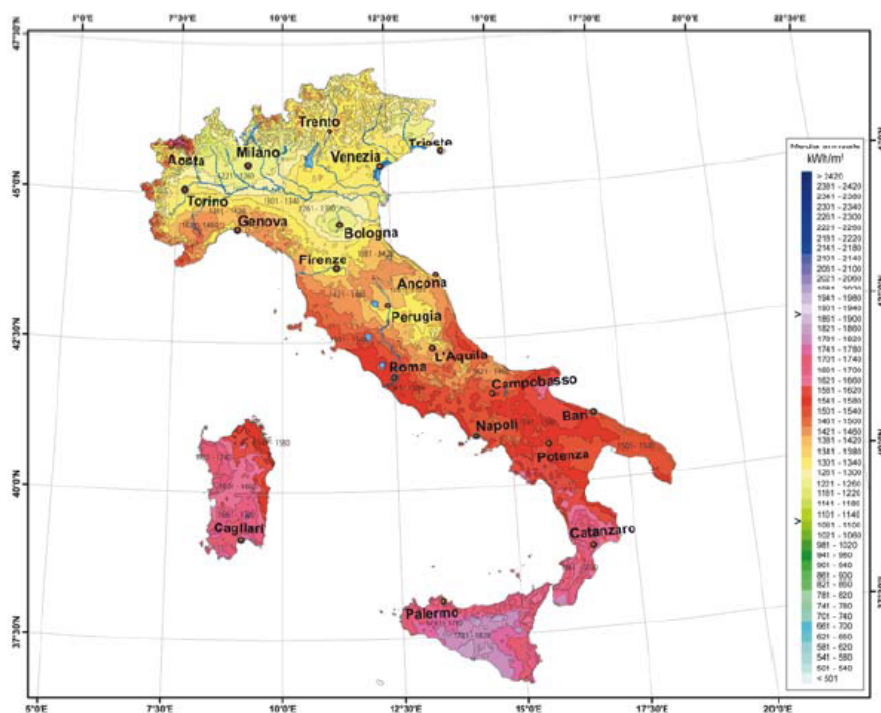


Figura 2.7: Irraggiamento solare medio in Italia 1981-2000

Molti sono gli osservatori che definiscono ormai come sicuro il raggiungimento di una maturità della tecnologia fotovoltaica tale da prevederne una continua crescita anche in assenza di incentivi così abbondanti. Si deve infatti considerare che la recente crisi economica mondiale ha sferrato un duro colpo alle politiche di sostegno al settore rinnovabili. Senza approfondire le “politiche verdi” dei diversi Stati, o prevedere le future mosse macroeconomiche del settore a livello mondiale ci focalizzeremo sulla situazione italiana. I sopracitati conti energia scaricando l’intero onere dell’incentivo sulla bolletta elettrica e non prevedendo un sistema adeguato di regolazione delle connessioni, hanno provocato un aumento sostanzioso del costo elettrico, che in molti non sono più disposti a sostenere (figure 2.12 e 2.13).

La circostanza ulteriore di aver assicurato gli incentivi agli impianti già esistenti, per un periodo futuro di venti anni, ha spinto il legislatore a ridurre drasticamente gli incentivi per i nuovi impianti, sia tramite l’abbassamento unitario dello stesso, sia fissando un tetto annuo massimo nonché imponendo agli impianti fotovoltaici condizioni di allacciamento alla rete più restrittive e penalizzanti.

Con queste nuove condizioni e in previsione di un futuro, a detta di molti, ancora meno favorevole dal punto di vista delle politiche di incentivazione, il divenire del fotovoltaico è pieno di incognite e le numerose ditte del settore stanno concentrando i loro sforzi per riorganizzarsi e continuare a produrre fatturati in attivo. Numerose erano le persone occupate nella filiera del fotovoltaico e purtroppo numerose sono le ditte che hanno già chiuso, ricorso alla cassa integrazione o che stanno riducendo il proprio organico in maniera drastica.

In un contesto, come quello attuale, di cambiamento e ricerca di nuove possibilità, le OR possono sicuramente rappresentare una “fonte di ispirazione” e la loro corretta applicazione può aiutare a dimostrare come investimenti altrimenti considerati di ritorno incerto si debbano in realtà perseguire senza timore.

Ricordiamo che il fotovoltaico, comunque, è un settore che gode tuttora di incentivi. Oltre ai già citati conti energia ci sono le agevolazioni relative al Servizio di Scambio sul Posto ² o il servizio di Ritiro Dedicato ³. Inoltre,

²Tariffazione che prevede agevolazioni per la connessione alla rete, privilegi rispetto al posizionamento e valutazione nel mercato dell’energia prodotta, esenzione dei costi di sistema per quanto riguarda la quota auto-consumata citare legge che la regola o trattato che la spiega.

³Tariffazione simile allo scambio sul posto dedicata agli impianti di taglia maggiore che però premia in maniera diversa l’autoconsumo e il valore immesso in rete vedere legge e/o trattato.

Irraggiamento solare nel 2011

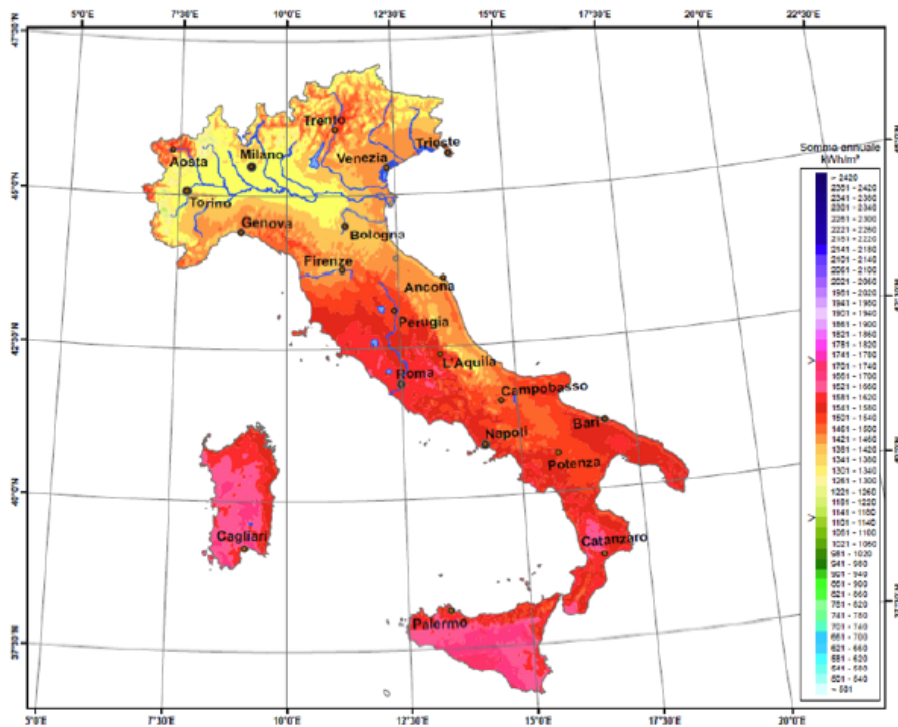


Figura 2.8: Irraggiamento solare in Italia 2011

molte regioni italiane, avendo giurisdizione in ambito energetico, hanno emanato, e ancora mantengono, sistemi incentivanti propri.

I vincoli normativi e le problematiche ambientali non sono stati eliminati dalla crisi e, quindi, molti altri Stati stanno comunque introducendo incentivi al fotovoltaico. Molti movimenti sociali e politici sostengono lo sviluppo del fotovoltaico e la c.d. “green mentality” permea il comune sentire. L’energia prodotta da fotovoltaico è da molti vista come migliore al di là del costo e perciò si è disposti spesso a considerarla un bene di valore maggiore perché prodotto tramite elettricità fotovoltaica.

L’enorme sviluppo del settore e il conseguente abbassamento dei costi abbinato ad una previsione di continuo aumento del costo dell’elettricità stanno portando l’investimento con ottica di autoproduzione ad essere spesso considerabile come conveniente al di là degli incentivi presenti. Ovviamente non ci sono le stesse garanzie di ritorno presenti in passato, ma molti investimenti vengono comunque ancora finanziati e alcune previsioni per il settore sono di continua crescita (figura 2.14).

Si è praticamente entrati, anche per il settore del fotovoltaico, nell’economia di mercato, in cui le previsioni di costo e rendimento sono fondamentali per determinare se realizzare o meno l’investimento.

Assunto per cui risulta fondamentale comprendere e saper utilizzare le OR.

Evolution of European cumulative installed capacity 2000-2011 (MW)

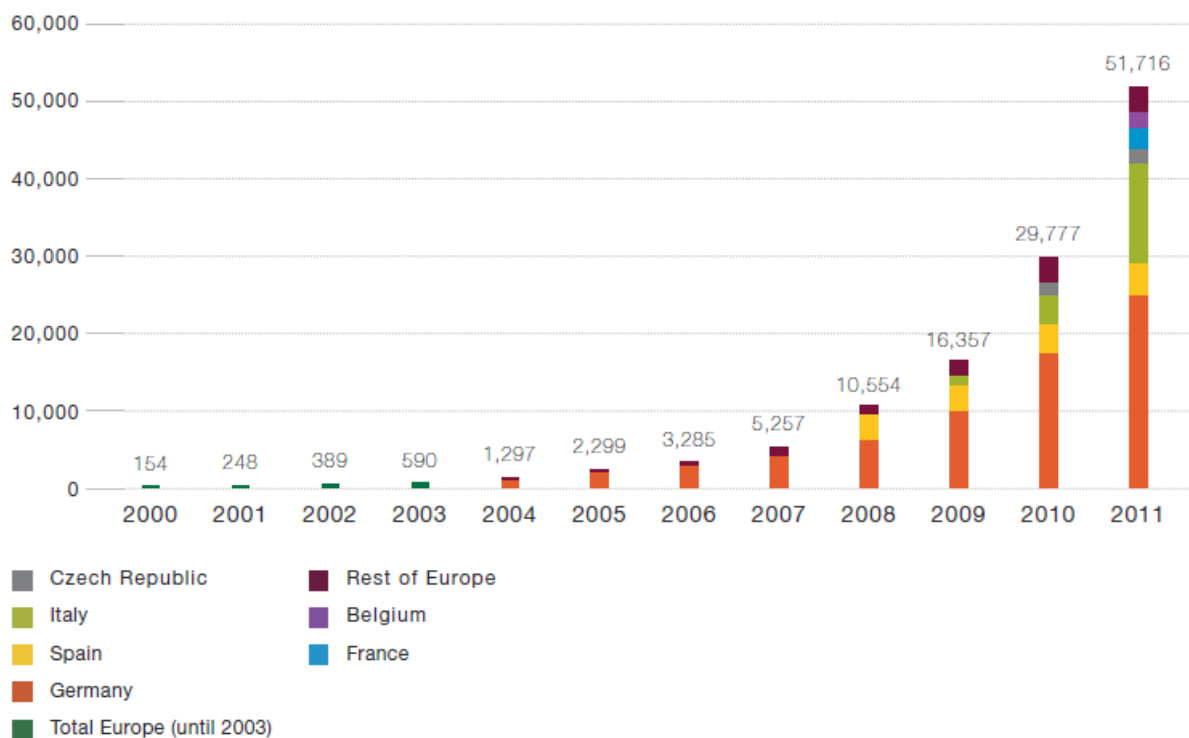


Figura 2.9: Grafici andamento installazione del fotovoltaico per singolo Paese europeo.

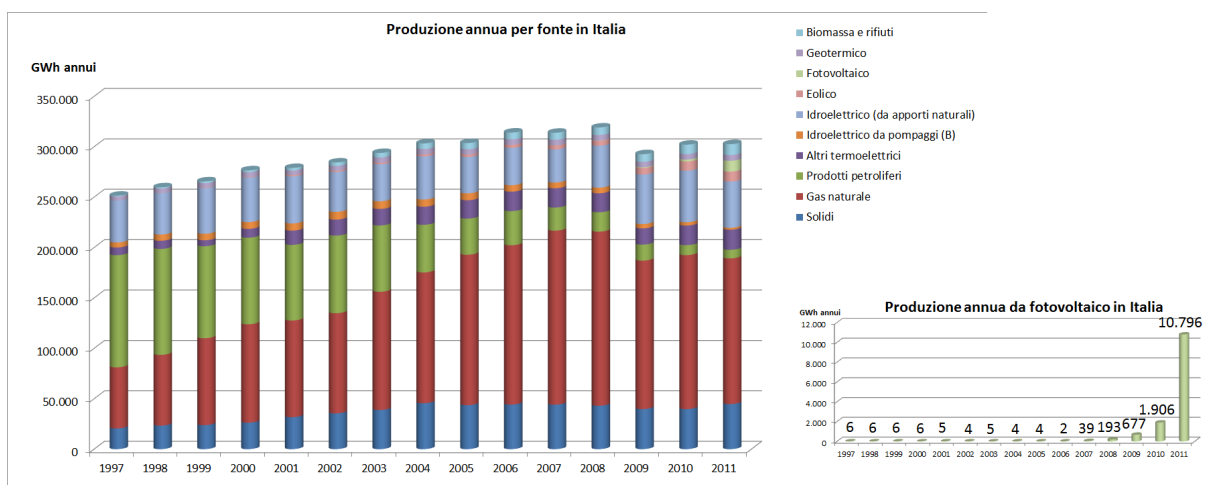


Figura 2.10: Grafici andamento produzione totale e da fotovoltaico in Italia.

Evolution of global cumulative installed capacity 2000-2011 (MW)

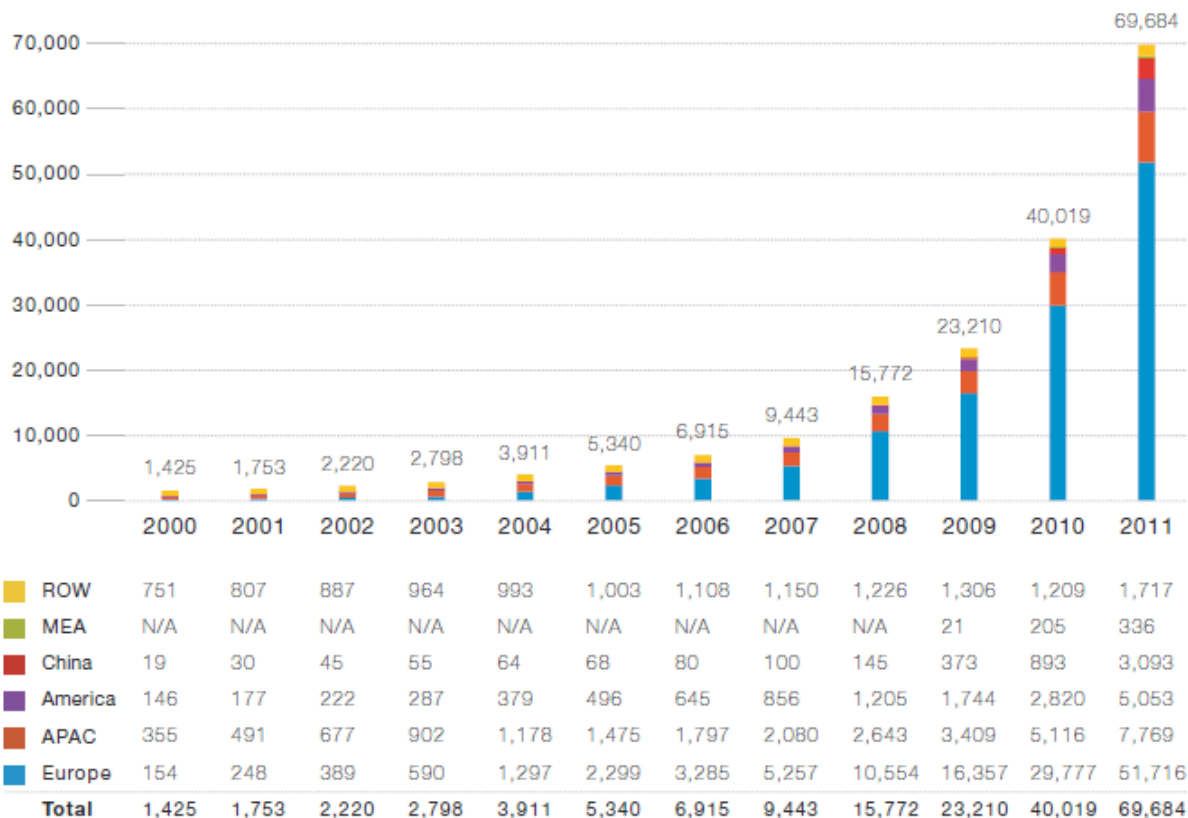


Figura 2.11: Andamento capacità da fotovoltaico installata a livello mondiale

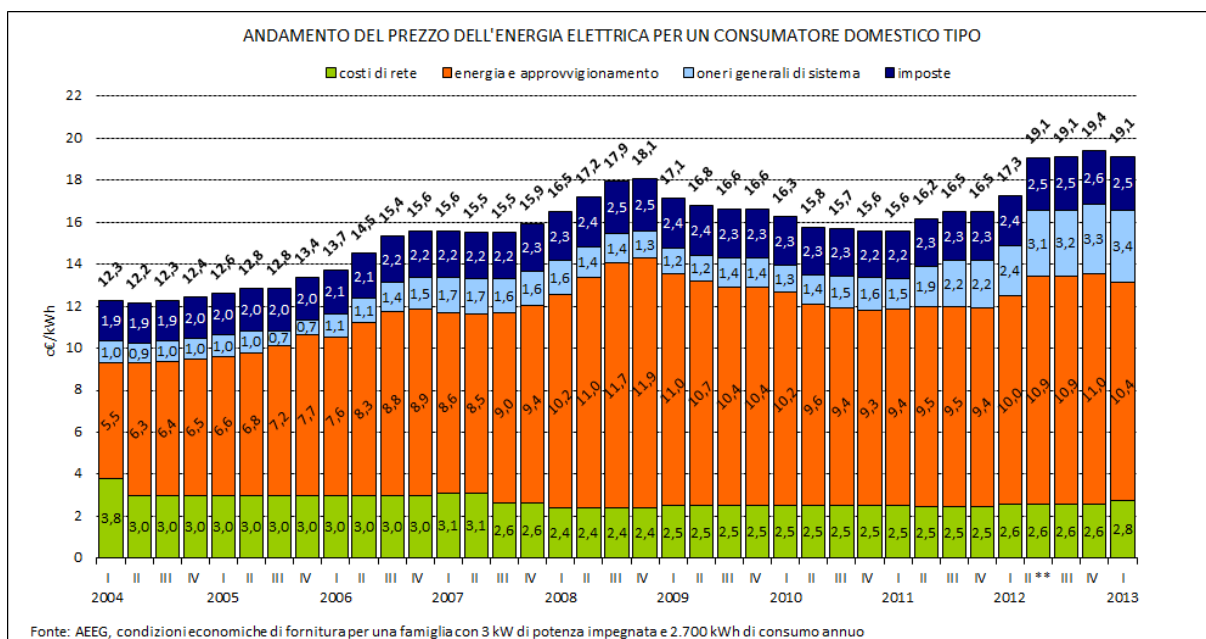
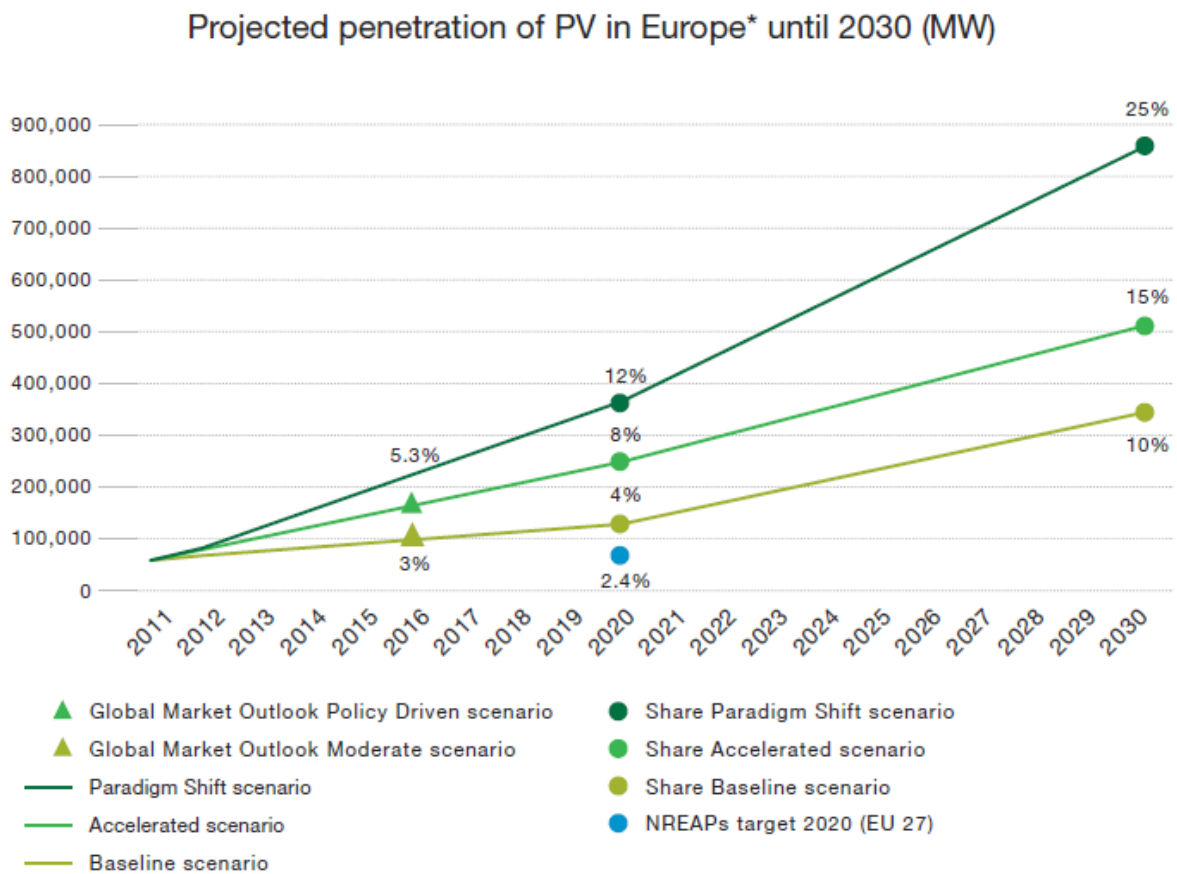


Figura 2.12: Adamento del prezzo dell'energia per un consumatore domestico tipo.

ONERI DI COMPETENZA	2010		2011	
	VALORE	QUOTA %	VALORE	QUOTA %
Compravendita energia elettrica rinnovabile CIP6	779	18,9	567	7,1
Ritiro certificati verdi	927	22,5	1.352	17,0
Fotovoltaico	855	20,7	3.949	49,8
Ritiro dedicato	83	2,0	131	1,7
Tariffa omnicomprensiva	221	5,4	464	5,8
Funzionamento GSE e altro	36	0,8	47	0,6
Scambio sul posto	38	0,9	127	1,6
TOTALE RINNOVABILI	2.939	71,2	6.638	86,6
Compravendita energia elettrica assimilata CIP6	873	21,2	778	9,8
Oneri CO ₂ assimilate	225	5,5	265	3,3
Copertura certificati verdi assimilate	53	1,3	40	0,5
Risoluzione CIP6	36	0,8	216	2,7
TOTALE ASSIMILATE	1.187	28,8	1.299	16,4
TOTALE ONERI A₃	4.126	100,0	7.937	100,0

Dettaglio degli oneri A₃
Milioni di euro

Figura 2.13: Dettaglio degli oneri A3 in milioni di euro.



source: EPIA, 2012

* Europe includes here the EU 27, Turkey, Norway and Switzerland

Figura 2.14: Previsione di penetrazione in europa del fotovoltaico.

Capitolo 3

OPZIONI REALI

E' giunto il momento di investigare in maniera esaustiva le OR. Basandoci sui concetti esposti nell'introduzione analizziamo per prime le opzioni finanziarie per poi concentrarci sulle Opzioni Reali.

3.1 OPZIONI FINANZIARIE

L'analisi tramite OR si fonda sulla possibilità di stabilire un'analogia fra opzioni finanziarie e opzioni su attività reali. Richiamiamo sinteticamente perciò le caratteristiche delle opzioni finanziarie, sottolineando i concetti e le caratteristiche trasferibili alla valutazione di investimenti reali.

Un'opzione finanziaria è il diritto, ma non l'obbligo, di acquistare (o vendere) dalla (o alla) controparte un determinato bene in futuro ad un predeterminato prezzo. Il bene su cui è costruita l'opzione, nel caso finanziario rappresentato da un titolo, è detto stock o underlying asset (bene sottostante). La data di scadenza di tale possibilità di acquisto (o vendita) è detta expiration date (scadenza) e il prezzo predeterminato è detto strike price (prezzo d'esercizio).

Un'opzione di acquisto è detta call, nel caso invece si tratti di un'opzione di vendita si denomina put. Indicato come S il prezzo dell'azione e X il prezzo predeterminato, matematicamente il valore dell'opzione call alla scadenza è definito come:

$$V_{call} = \text{MAX}(S - X, 0) \quad (3.1)$$

mentre per l'opzione put sarà

$$V_{put} = \text{MAX}(X - S, 0) \quad (3.2)$$

Un'opzione call è detta in-the-money se il prezzo del sottostante è maggiore di quello d'esercizio; se invece il prezzo d'esercizio è maggiore è detta out-of-the-money (il ragionamento si inverte nel caso di opzione put).

Esiste poi una differenziazione basata sulla scadenza: se l'opzione consente di vendere (o acquistare) entro la data di scadenza dell'opzione stessa è detta americana; se invece permette l'esercizio unicamente alla data di scadenza è detta europea.

In ogni caso si nota come le opzioni siano dei contratti asimmetrici: esiste una sproporzione fra il rischio accettato per il sottoscrittore e quello accettato dal venditore dell'opzione. Il primo, non avendo nessun obbligo, può sfruttare gli andamenti favorevoli senza essere esposto alle fluttuazioni negative. Il secondo, invece, sarà esposto all'andamento negativo e non beneficerà di un eventuale andamento favorevole del bene.

Il contratto d'opzione è quindi caratterizzato da un preciso costo per il sottoscrittore, tale da compensare i rischi assunti dalla controparte. Tale valore viene espresso in termini di premio che il sottoscrittore deve pagare al venditore al momento della stipula del contratto.

Per tali tipi di contratti esistono mercati appositi, in cui sono forniti dei contratti standard su titoli, valute o materie prime. Su tali mercati da diversi anni si trattano in maniera continua i contratti di opzione e quindi esistono molte analisi e teorie sul giusto metodo per il calcolo del corretto prezzo teorico di un'opzione. Tramite le OR si cerca di sportare tali meccanismi e principi agli investimenti reali.

3.2 OPZIONI REALI

In maniera molto simile alle opzioni finanziarie, l'Opzione Reale rappresenta il diritto ma non l'obbligo di compiere una certa azione a un costo predeterminato (prezzo d'esercizio), per un periodo prestabilito (vita dell'opzione).

La più antica storia documentata di un'Opzione Reale risale a Talete, filosofo che visse nell'isola di Milo, di cui Aristotele narra la storia nei suoi scritti. Talete, avendo previsto che il raccolto delle olive dell'anno venturo sarebbe stato estremamente favorevole, decise di investire tutti i propri risparmi per prenotare l'utilizzo di tutti i frantoi dell'isola, accordandosi sul fatto che durante la raccolta avrebbe potuto (non dovuto) utilizzare i frantoi ai prezzi consueti. I proprietari dei frantoi, vista l'opportunità di ricevere immediatamente i risparmi di Talete oltre ai prezzi consueti durante la stagione del raccolto, accettarono di buon grado la proposta. Il raccolto superò di gran lunga tutte le aspettative. I raccoglitori di olive furono disposti a pagare molto più del prezzo tradizionale e Talete fece pagare il prezzo di mercato anziché i prezzi consueti. I relativi guadagni fecero di Talete un uomo ricchissimo: questo è il più antico esempio storico documentato di un contratto di opzioni reale.

L'accordo descritto da Aristotele contiene tutte le cinque variabili fondamentali che determinano il valore di un'Opzione Reale. Il valore dell'opzione è la somma di denaro che Talete pagò ai proprietari in anticipo – i risparmi della sua vita. Al pari delle opzioni finanziarie le cinque variabili sono:

1. valore dell'attività rischiosa sottostante: nelle OR questa attività è costituita dal progetto, investimento in esame; se il valore di tale attività sale, anche quello dell'opzione sale; nel caso di Talete il valore dell'attività rischiosa sottostante è il valore di noleggio dei torchi.
2. prezzo d'esercizio: è la somma di denaro da sborsare (o da ricevere) se si "acquista" (o se si "vende") l'attività sottostante; per Talete è il prezzo consueto di noleggio dei torchi.
3. scadenza dell'opzione: nelle OR finanziarie viene concordata tramite contratto, nell'investimento è data dalla vita dell'investimento; per Talete è data dal tempo mancante alla stagione del raccolto; solitamente maggiore è il tempo alla scadenza maggiore è il valore dell'opzione.
4. scarto quadratico medio del valore dell'attività rischiosa sottostante; il valore di un'opzione (es call) è legato alla possibilità che il valore dell'attività superi il prezzo predeterminato; maggiore è la volatilità dell'asset sottostante, maggiori sono le probabilità che ciò accada; nella storia narrata da Aristotele la causa determinante dell'incertezza è la variabilità del raccolto di olive ma l'effettiva variabile in gioco è lo scarto quadratico medio del canone di noleggio dei torchi.
5. tasso di interesse privo di rischio durante l'intera vita dell'opzione; al suo crescere, cresce anche il valore dell'opzione; nella storia non è specificatamente citato ma è un tasso di mercato osservabile.

A queste cinque variabili esiste la possibilità che si aggiunga una sesta variabile: il dividendo che può essere pagato dall'attività sottostante. Negli investimenti reali può essere rappresentato dal flusso di cassa attivo periodico che l'investimento produce; nella storia di Talete non è presente nessun dividendo.

Ritornando a tempi più recenti, il termine "Opzioni reale" è stato coniato per la prima volta da Steward Mayers della Sloan School of Management (MIT), come la pianificazione strategica di impresa che si possa servire della finanza intesa in senso stretto: "La pianificazione strategica ha bisogno dei metodi della finanza. Il calcolo del valore attuale è necessario per verificare l'analisi strategica e viceversa. Tuttavia, le tecniche convenzionali del flusso di cassa scontato tendono a sottovalutare il valore d'opzione inerente a linee di attività con redditività crescente. È necessario estendere la teoria della finanza d'impresa in modo tale da ricomprendervi il trattamento delle opzioni reali [. . .]. (Meyers, 1984) [1].

Al pari degli investimenti finanziari anche le attività reali sono caratterizzate da "irreversibilità" e "ritardabilità". La reversibilità dovuta a vincoli di natura istituzionale è palese: le spese sostenute per realizzare un investimento non sono più recuperabili o, quanto meno, lo sono in minima parte.

La ritardabilità dell'investimento è intesa come la possibilità di procrastinare una decisione di investimento. Tale caratteristica rappresenta un costo-opportunità: ritardare la decisione può permettere di ottenere nuove informazioni rispetto ad alcune variabili aleatorie considerabili chiave. Di fatto, l'irreversibilità e la ritardabilità portano a considerare un'opportunità di investimento alla pari di una call option finanziaria. Ma gli investimenti richiedono una approfondita analisi preliminare e generalmente le attività reali sono molto complesse e comportano l'analisi e il confronto tra scelte multiple e singoli progetti. Le opzioni finanziarie da sole non bastano per fornire una realtà strategica d'impresa, anche considerando un solo investimento.

Nella realtà un investimento può essere differito in più fasi, si devono prendere importanti decisioni in condizione di incertezza del mercato, incertezza sui tempi di lancio o costruzione del prodotto, sui costi di sviluppo e

sulle eventuali contromosse della concorrenza. Molto più che nell'ambito finanziario, gli investimenti reali soffrono della realtà concorrenziale ed ogni scelta deve essere confrontata con le scelte dei competitor. Ma come affermato da Amram e Kulatilaka "Coloro che sono chiamati a prendere tali decisioni dovrebbero analizzare i mercati in termini di genesi e di evoluzione dell'incertezza e aprire il più possibile il cono dell'incertezza, poiché l'incertezza crea opportunità e, quindi, valore" (1999) [3].

Nel momento in cui si raccolgono nuove informazioni e si può considerare risolta l'incertezza relativa alla condizione del mercato, il management potrebbe variare la gestione dell'investimento, considerando le possibilità di flessibilità strategica presenti. Da ciò deriva come "il tradizionale calcolo del valore attuale netto non può essere considerato la rappresentazione più significativa del valore di un progetto nel caso in cui il contesto sia mutevole e la tecnologia sia flessibile, ovvero qualora l'intervento manageriale possa aver luogo senza aumentare in maniera significativa i costi di produzione" (Moretto, D'Alpaos 2004) [4].

"In pratica sembra che molti decisori si rendano già conto che vi è qualcosa di sbagliato nella semplice regola del valore attuale netto (NPV) così come viene comunemente intesa, si rendono cioè conto che l'attesa di ulteriori informazioni può creare valore e che questo valore non viene riflesso dal calcolo tradizionale del valore attuale netto. Spesso, in effetti, i manager non si accontentano di un mero valore positivo del valore attuale netto [. . .]. Può accadere che i manager si rendano conto che le opzioni di un'impresa sono preziose e che è opportuno tenerle aperte" (Dixit e Pindyck, 1994)[5].

L'approccio delle Opzioni Reali "[. . .] è un modo di pensare e fa parte di una grande ondata di cambiamenti che investe i mercati finanziari e dei prodotti in genere e impone ai dirigenti di creare valore tramite la gestione degli investimenti strategici in un mondo incerto [. . .].(Amram e Kulatilaka, 1999) [3].

La caratteristica principale delle OR è quella di fornire ai responsabili della gestione di impresa uno strumento di decisione e di valutazione il cui impiego rifletta una buona gestione del progetto. Di fatto fornisce l'ambiente di lavoro all'interno del quale unire il valore del progetto, il rischio e la corretta struttura per poter gestire tale rischio. Riconoscendo come l'incertezza abbinata alle caratteristiche di flessibilità del progetto influenzi il valore dello stesso.

Gli investimenti devono porre al decisore una serie di quesiti relativi alla natura strategica dell'investimento, alle tipologie di opzioni che possono contraddistinguerlo e alle condizioni che devono verificarsi perché abbia senso decidere di investire. Le Opzioni Reali rappresentano un metodo di valutazione degli investimenti coerente con la prassi, ormai consolidata, delle valutazioni effettuate nel mondo finanziario e si avvale degli input e dei concetti propri di tale mondo, rendendo inoltre la stima del rischio un processo più oggettivo.

3.3 APPLICAZIONE PRATICA DELL'ANALISI TRAMITE OPZIONI REALI

Un'analisi matematica approfondita esula dallo scopo di tale tesi e si configura in una visione matematica-finanziaria avanzata che non ci compete. Tale trattato nasce con l'intento di essere una guida pratica, per far comprendere i concetti alla base delle OR.

Il primo metodo di analisi OR e ancora oggi uno dei più usati, è basato sulle equazioni differenziali stocastiche (PDE - Partial differential equations) e il cosiddetto calcolo Ito, che ha come base l'algoritmo di Black-Scholes (1973) [6] rielaborato anche da Merton (1973) [7].

Tale scritto ha fornito per la prima volta una soluzione in forma chiusa per la definizione di prezzo in equilibrio di un'opzione call, risolvendo uno dei problemi più complicati del novecento. Scholes morì prematuramente, ma Black e Merton vinsero assieme il premio Nobel per l'economia.

Il modello Black-Scholes ha inaugurato una infinità di scritti e tuttora in molti tentano di usarlo per prevedere l'andamento del prezzo di vari tipi di opzioni verificando empiricamente i risultati determinati. L'equazione di Black-Scholes per la valutazione delle opzioni è:

$$\text{Valore di una call option} = PN(d_1) - E \cdot e^{-rt} \cdot N(d_2) \quad (3.3)$$

Dove:

$$d_1 = \frac{\log(P/E) + rt + s^2t/2}{s \cdot \sqrt{t}} \quad (3.4)$$

$$d_2 = \frac{\log(P/E) + rt - s^2t/2}{s \cdot \sqrt{t}} \quad (3.5)$$

$N(d)$ = funzione di densità di probabilità cumulata normale;
 E = prezzo di esercizio;
 t = durata dell'opzione;
 P = prezzo corrente dell'underlying asset;
 s = scarto quadratico medio per periodo degli incrementi o decrementi di valore dell' underlying asset;
 r = tasso di rendimento per attività prive di rischio (capitalizzato nel continuo).

Si deve però ricordare come tale modello nel mondo degli investimenti reali presenti delle limitazioni non facilmente superabili. L'algoritmo alla base infatti è caratterizzato da sette assunti:

1. l'opzione può essere esercitata soltanto alla scadenza: sono trattabili solo le opzioni call europee;
2. vi è una sola fonte di incertezza: è escluso la combinazione di più incertezze o l'esistenza di un tasso d'interesse non costante;
3. l'opzione è contingente ad un'unica attività sottostante: le opzioni composte sono quindi escluse;
4. non è previsto il pagamento di dividendi: i flussi di cassa annuali di un investimento sono considerati alla pari di dividendi e quindi la maggior parte degli investimenti sono esclusi;
5. il prezzo corrente di mercato e il processo stocastico seguito dal sottostante sono noti (osservabili);
6. la varianza del rendimento del sottostante è costante nel tempo;
7. il prezzo d'esercizio è noto e costante.

Anche gli ultimi tre assunti non sono rispettabili nel mondo degli investimenti reali.

Inoltre, anche se le moderne calcolatrici tascabili hanno incorporata la funzione Black-Scholes per la valutazione delle opzioni ed esistono molti software applicativi, le OR non possono presentarsi come scatole nere agli occhi dei manager o dei decisori, che nella maggior parte dei casi non sono matematici specializzati.

I modelli proposti tramite PDE sono spesso basati su assunzioni fortemente ristrette. Ogni modello è altamente specializzato e la modifica dei parametri comporta la necessità di drastici cambiamenti. Le opzioni analizzabili sono spesso troppo semplicistiche rispetto alla realtà e finiscono per trascurare fattori fondamentali. Un altro errore che tale trattazione porta a compiere è quello di considerare come variabile dell'intero progetto la variabilità di una sua componente. In riferimento alla produzione di energia da fonte rinnovabile, per rispettare un maggior numero di assunti in molti si basano sulla variazione dei contratti a termine di energia, che in realtà sono basati solo sulla produzione di base e risentono di movimenti speculativi. Molte volte esistono incentivi, costi di manutenzione, e il valore della tecnologia non è strettamente legato a quello dell'energia sul mercato.

L'insieme di tali problemi ha creato in passato un contesto poco propenso allo sviluppo delle OR. Ma recentemente i manager si sono trovati a disporre di un nuovo strumento estremamente potente ed economicamente accessibile, in grado di rendere realistiche e trasparenti le varie applicazioni: il personal computer. Tramite l'esistenza dei fogli di calcolo e le loro elevate capacità, la matematica avanzata non è più indispensabile. Servendosi di reticoli, soluzioni algebriche e di matematica discreta si può addirittura approssimare al limite il modello di Black-Scholes [6].

Tale metodologia si basa sull'utilizzo degli alberi binomiali o simulazione binomiale dell'evoluzione dell'incertezza in scenari discreti [5,8]. Esso facilita la modellizzazione di scenari con interazione multiple di opzioni, rendendo il risultato molto più immediato. Il modello ad albero è meno specifico rispetto alle PDE risultando più versatile e adatto a diverse configurazioni del problema. Si basa sugli stessi procedimenti e concetti utilizzati nel VAN. Si può trattare con un semplice foglio di calcolo (es. Excel) e permette di osservare intuitivamente l'evolversi dell'investimento lungo tutto il suo periodo di vita. Per tali motivi, il metodo è utilizzato in questa tesi e i modelli presentati nella seconda parte ne fanno largo uso. Un altro concetto fondamentale che ne premia l'utilizzo è la mancata necessità di dover individuare un'attività sottostante scambiata nei mercati mondiali. Può essere applicata l'analisi tramite OR ogni volta in cui sia possibile stimare il VAN del progetto sottostante nell'ipotesi di assenza di flessibilità, procedimento denominato marketed asset disclaimer (Mad).

Il VAN ha il suo fondamento nel primo principio base della finanza: "un euro oggi vale più di un euro domani"; l'euro oggi può essere investito ed iniziare a dare interessi immediatamente. Praticamente si riconosce il costo opportunità del capitale¹. L'operazione che consente di riportare ad una certa data tutte le entrate e le uscite di

¹ Il costo opportunità (opportunity cost) è il costo derivante dal mancato sfruttamento di un'opportunità concessa ad un soggetto economico. Quantitativamente, il costo opportunità è il valore della migliore alternativa tralasciata a parità di capitale investito, ovvero il ricavo a cui un operatore economico deve rinunciare per intraprendere una determinata scelta economica.

un dato investimento collocate in istanti temporali differenti, così da tenere conto del diverso valore che il denaro assume nel tempo è denominata con il termine “attualizzazione”. Il processo opposto, cioè la valutazione ad un tempo futuro t_i di un capitale allo stato attuale t_0 , è detto “capitalizzazione”.

In presenza di un flusso di cassa² il valore attuale netto si calcola sottraendo l’investimento iniziale al valore attuale:

$$VAN = VA - Investimento \quad (3.6)$$

L’operazione da compiere per calcolare il valore attuale VA è:

$$VA = \sum_{i=1}^n FA \cdot C_i \quad (3.7)$$

Dove:

C_i = ricavo atteso nel periodo i ;

FA = fattore di attualizzazione.

Il fattore di attualizzazione è espresso come il reciproco di 1 più il tasso di rendimento:

$$FA = \frac{1}{(1+r)^i} \quad (3.8)$$

Il tasso di rendimento r rappresenta il costo opportunità del denaro ed è, di fatto, il premio di rendimento che gli investitori domandano per accettare la posticipazione del ricavo. Viene anche spesso chiamato tasso di attualizzazione o rendimento richiesto e ci ritorneremo ampiamente nel seguito.

La formula del VAN può essere così scritta:

$$VAN = C_o + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad (3.9)$$

dove:

C_o = flusso di cassa al periodo zero (cioè oggi), e sarà solitamente un numero negativo.

Si può osservare come la differenza fra VAN e OR dal punto di vista matematico sia

$$regola\ VAN = MAX(pert = 0)[0, E_o \cdot V_t - X] \quad (3.10)$$

che equivale a dover scegliere il valore massimo fra una serie di valori alternativi che si escludono a vicenda

$$regola\ OR = E_o MAX(pert = 0)[0, V_t - X] \quad (3.11)$$

che invece equivale alla speranza matematica di un massimo (non il massimo fra più aspettative). Nella prospettiva di un’opzione, un progetto viene intrapreso in un momento futuro se e solo se $V_t > X$ mentre per il VAN si prevede già ora se $E_o V_t > X$.

Se l’incertezza è nulla l’aspettativa attuale sarà uguale al possibile risultato futuro, ma in presenza di incertezza essi non coincideranno, perché per ogni E_o ci saranno più V_t possibili.

In ogni caso comunque si dovranno attualizzare i flussi di cassa previsti; il tasso di attualizzazione riveste un ruolo basilare per entrambe le metodologie di valutazione di un investimento. Nella pratica aziendale per la sua individuazione si ricorre al metodo del costo medio ponderato del capitale (WACC).

Si definisce costo del capitale aziendale il rendimento atteso del portafoglio, composto da tutti i titoli emessi dall’impresa: è il rendimento atteso delle attività di un’impresa, cioè quello atteso dagli azionisti se l’impresa non avesse debiti.

Il costo del capitale di un progetto dipende dal suo rischio. Quando il rischio di mercato di un progetto è simile al rischio medio di mercato degli investimenti in essere di un’impresa, allora il suo costo del capitale equivale al costo del capitale di un portafoglio che comprenda tutti i titoli dell’azienda. Il costo del capitale del progetto è uguale al costo medio ponderato del capitale aziendale (WACC).

La sua formulazione analitica è la seguente:

²Il flusso di cassa (cash flow) è la ricostruzione dei flussi di una azienda/progetto nell’arco del periodo di analisi. Quando il flusso è positivo (incremento) si definisce cash inflow, quando è negativo (decremento) si definisce cash outflow.

$$WACC = \frac{E}{E+D}r_E + \frac{D}{E+D} \cdot r_D(1 - T_c) \quad (3.12)$$

Dove:

E = valore di mercato del capitale proprio (equity);

D = valore di mercato del debito;

r_E = costo del capitale proprio;

r_D = costo del debito;

T_c = aliquota fiscale del reddito di impresa.

Il costo del debito è dato dalla modalità con cui l'impresa ottiene i finanziamenti e dai soggetti che li forniscono.

Questo metodo incorpora il beneficio dello scudo fiscale degli interessi nel costo del debito al netto delle imposte: la presenza delle imposte determina che dal reddito imponibile possano essere dedotti gli interessi pagati sul debito contratto dall'impresa, ma non i dividendi sulle azioni. Ne segue che il costo del debito al netto delle imposte è $r_D(1 - T_c)$.

Il ragionamento alla base del WACC è che il costo medio ponderato del capitale sia dato dal rendimento medio che l'impresa deve pagare ai suoi investitori (sia agli azionisti, sia ai detentori di capitale di debito) dopo le imposte. Quindi, per essere redditizio, un progetto dovrebbe generare un rendimento atteso pari almeno al costo medio ponderato del capitale dell'azienda (WACC).

Bisogna aggiungere però che il costo del capitale viene determinato con il modello CAPM, e i limiti di tale metodo si riflettono sulla determinazione del WACC.

Il CAPM (Capital Asset Pricing Model) è una teoria finanziaria che lega il rischio presente in un determinato investimento al rendimento del mercato competitivo in cui tale investimento si può collocare. Viene quindi utilizzato per stimare il rendimento che gli investitori richiedono per gli investimenti nel mercato. Senza entrare nel merito di tale trattazione³ tale approccio si basa sui concetti di rischio specifico e rischio sistematico.

Il rischio economico è quel tipo di rischio che incide sui risultati reddituali degli operatori economici. Esso è legato all'equilibrio tra costi e ricavi ed è determinato dalla variabilità di un fenomeno economico in condizioni di incertezza.

Il possessore di un portafoglio azionario può ridurre il rischio a cui è esposto attraverso la diversificazione dei titoli che possiede, ma comunque rimarrà una componente di rischio legato all'andamento complessivo del mercato.

Il rischio eliminabile tramite la diversificazione è il rischio specifico, mentre il rischio sempre presente è il rischio sistematico. Il tutto deriva dalla constatazione che esistono problemi e pericoli che interessano tutta l'economia e fan sì che le azioni tendano a muoversi assieme.

Il rischio sistematico è quindi riportabile alla misurazione di quanto tale titolo sia sensibile alla variazione del mercato. Tale sensibilità è normalmente denominata β (beta): un valore maggiore di uno implica l'amplificazione dei movimenti del mercato, mentre con un valore di beta compreso fra uno e zero il titolo seguirà il mercato ma con variazioni più ridotte.

Secondo un approccio statistico, il beta dell'azione i può essere definito come segue:

$$\beta_i = \frac{\sigma_{im}}{\sigma_m^2} \quad (3.13)$$

dove σ_{im} è la covarianza fra i rendimenti dell'azione i e i rendimenti del mercato, mentre σ_m^2 è la varianza dei rendimenti del mercato.

Si definisce come r_f il tasso di interesse privo di rischio, assicurato da quelle azioni a cui teoricamente si può attribuire un valore di beta nullo (nella pratica comune i titoli di Stato a breve termine).

Un investitore che decide di investire in azioni con maggior rischio ($\beta > 0$) pretende quindi un rendimento maggiore di r_f . La differenza tra i due rendimenti viene detta premio per il rischio di mercato e negli anni sessanta, tre economisti - William Shape, John Lintner e Jack Treynor - hanno realizzato un metodo denominato CAPM (Capital Asset Pricing Model) per capire quale sia tale premio.

Il modello si basa sul concetto che il rischio vari in maniera proporzionale a β e analiticamente si può esprimere come:

³Per approfondire: Marco Tarabocchi, Metodologie di analisi degli investimenti in impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili, università di Padova, tesi di laurea magistrale in ingegneria elettrica 2012.

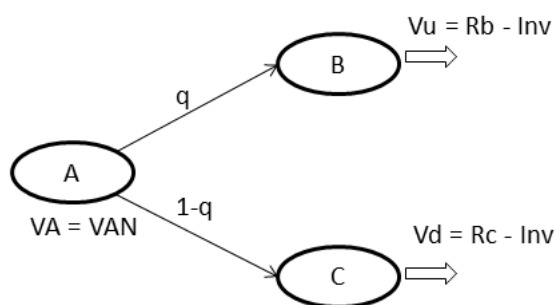


Figura 3.1: Albero binomiale

$$r - r_f = \beta(r_m - r_f) \quad (3.14)$$

dove r_m è il rendimento del mercato complessivo.

Per riportare tali principi nell'analisi di un investimento reale esiste il concetto di "metodo di flusso di cassa scontato con aggiustamento del rischio".

Supponendo di conoscere l'importo di un investimento e di essere in grado di calcolarne i due possibili flussi di cassa attesi legati alla relativa probabilità (figura 3.1), supponendo di riuscire ad individuare nel mercato un titolo gemello che presenti dei flussi di cassa perfettamente correlati a quello del nostro investimento (quindi che abbia lo stesso β), essendo presente sul mercato sarà possibile osservarne la quotazione. Conoscendo i flussi di cassa attesi e il prezzo corrente del titolo gemello si può riportarlo all'investimento.

Essendo la formula del VA:

$$VA = \frac{q(V_u) + (1-q)(V_d)}{(1+k)} \quad (3.15)$$

si può correttamente porre:

VA = valore nel mercato del titolo;

V_u = flusso atteso alto;

V_d = flusso atteso basso;

q ; $1 - q$ = probabilità di realizzazione dei rispettivi flussi.

Tramite questi parametri facilmente si ricava il tasso di sconto aggiustato rispetto al rischio (k).

L'economia finanziaria ha sviluppato un procedimento più elegante che permette di non dover individuare un singolo titolo equivalente ma di poterlo costruire tramite un portafoglio di più titoli. Portafoglio formato da m azioni gemelle e B obbligazioni dal rendimento equivalente al tasso di rendimento privo di rischio (r_f). Tale metodo detto "portafoglio equivalente" permette di applicare la legge del prezzo unico, affermando che, se si escludono guadagni da arbitraggio, due attività che danno gli stessi utili in ogni stato sono perfettamente sostituibili fra loro e devono pertanto avere esattamente lo stesso prezzo (o valore).

Vi è poi un'alternativa impiegata più frequentemente e denominata metodo della probabilità neutrale rispetto al rischio, che è matematicamente equivalente. Concettualmente si può affermare come il metodo del portafoglio equivalente sconti i flussi di cassa attesi al tasso aggiustato in funzione del rischio (il nostro k appunto), mentre il metodo della probabilità neutrale rispetto al rischio sconti gli equivalenti certi dei flussi di cassa al tasso privo di rischio. Il metodo della probabilità neutrale rispetto al rischio si basa sul calcolo della suddetta probabilità (p risk-neutral probability)

$$p = \frac{(r_f \cdot V_o) - V_d}{V_u - V_d} \quad (3.16)$$

e il nuovo valore attuale viene dato da

$$VA = \frac{p \cdot V_u + (1-p) \cdot V_d}{1+r_f} \quad (3.17)$$

se poi si pone

$$d = \frac{V_d}{V_o} \quad (3.18)$$

$$u = \frac{V_u}{V_o} \quad (3.19)$$

si ottiene la formula semplificata

$$p = \frac{r_f - d}{u - d} \quad (3.20)$$

come precedentemente scritto la formula binomiale può essere riportata al limite ad equivalere alla formula di Black-Scholes e viceversa.

Senza entrare nel merito di tale trattazione matematica ⁴ Cox, Ross e Rubinstein (1979)[8] hanno derivato una relazione che consente di convertire i movimenti ascendenti e discendenti nello scarto quadratico istantaneo (medio annuo) del tasso di rendimento dell'attività sottostante (e viceversa):

$$u = r^s \sqrt{T/n} \quad (3.21)$$

$$d = r^{-s} \sqrt{T/n} \quad (3.22)$$

dove T è la vita totale dell'investimento e n il numero di intervalli in cui è suddiviso.

Individuare un'azione gemella o anche un portafoglio equivalente al nostro investimento, nel caso di Opzioni Reali, è la difficoltà principe per cui è ancora molto attuale la scelta di riportare il problema all'interno delle PDE e ricercare per ogni investimento l'asset sottostante di cui ottenere lo scarto quadratico medio (s). Nel mondo dell'energia ciò ha sempre significato investigare l'andamento dell'energia nei mercati finanziari, ricavando lo scarto (s) dallo storico o prevedendone uno futuro su proprie considerazioni.

Tale procedimento è da evitare e non è più considerato come fondamentale. Il concetto di marketed asset disclaimer (Mad) ha permesso il sorpasso di tale problema.

Il Mad è l'assunto per cui il valore attuale dei flussi di cassa del progetto senza flessibilità (ossia il VAN tradizionale) sia il migliore stimatore non distorto del valore di mercato che il progetto avrebbe se fosse uno strumento negoziabile.

Nella definizione di portafoglio equivalente si assuma che una parte di esso avrà lo stesso flusso di cassa del nostro investimento, e sarà così possibile costruirlo in maniera soddisfacente e semplice.

Tale assunto permette di non dover valutare il cambiamento del rischio (e di conseguenza k, tasso di sconto aggiustato rispetto al rischio) dovuto all'introduzione delle opzioni, permettendoci una valutazione dell'investimento tramite il concetto finanziario di neutralità al rischio più fedele possibile.

Esplicita la trattazione dell'attualizzazione e dei metodi finanziari applicabili per l'eliminazione del rischio si evidenzia un'altra diversità fra il VAN e l'approccio tramite OR. Per applicare il Mad e più in generale l'analisi OR, calcolare i flussi di cassa non basta: si deve infatti ragionare tramite il profilo temporale del VAN. Ciò significa tracciare per ogni anno il valore complessivo residuo dell'investimento.

Nel caso di investimento con dividendi dati a fine anno e durata di vita fissata il valore finale sarà nullo, ipotizzando che al primo anno non ci siano dividendi ma il solo esborso per l'acquisto, l'andamento sarà praticamente a "dente di sega inclinato" (figure 3.2 e 3.3). Partendo dall'ultimo anno (valore finale VA^{fin} nullo) si andrà a ritroso sommando ogni volta il dividendo atteso (Div) e il valore attualizzato degli anni precedenti per calcolare il valore ad inizio anno (VA^{in}) progressivamente fino a determinare il valore allo stato attuale netto.

$$VA_n^{fin} = 0 \quad (3.23)$$

$$VA_n^{in} = Div_n = 500\text{€} \quad (3.24)$$

$$VA_{n-1}^{in} = \frac{VA_n^{in}}{(1+t_s)} = \frac{500}{(1+0,15)} = 434,8\text{€} \quad (3.25)$$

$$VA_{n-1}^{in} = VA_{n-1}^{fin} + Div_{n-1} = 434,8 + 500 = 943,8\text{€}.... \quad (3.26)$$

⁴Per approfondire: Tom Copeland e Vladimir Antikarov, Opzioni Reali - Tecniche di analisi e valutazione, traduzione di Nanni Negro, capitolo 7.

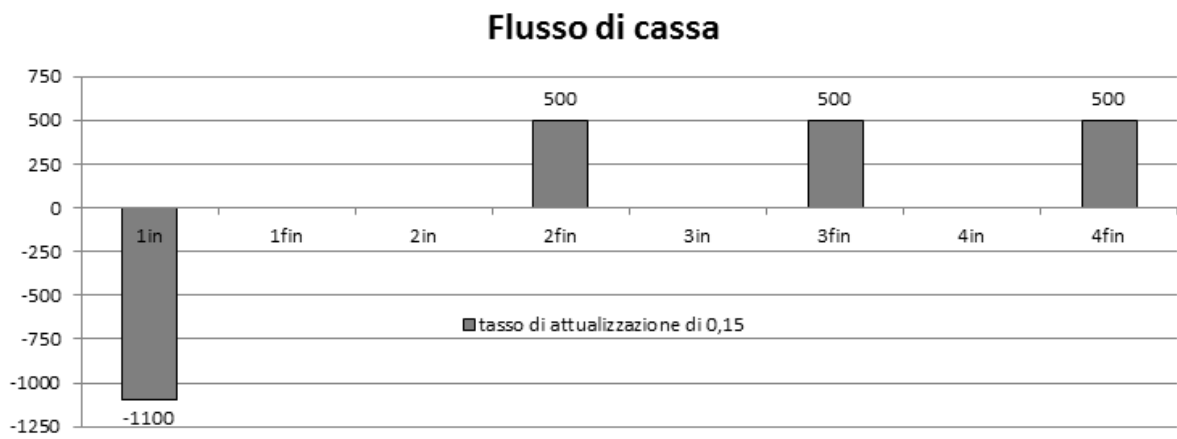


Figura 3.2: Flusso di cassa

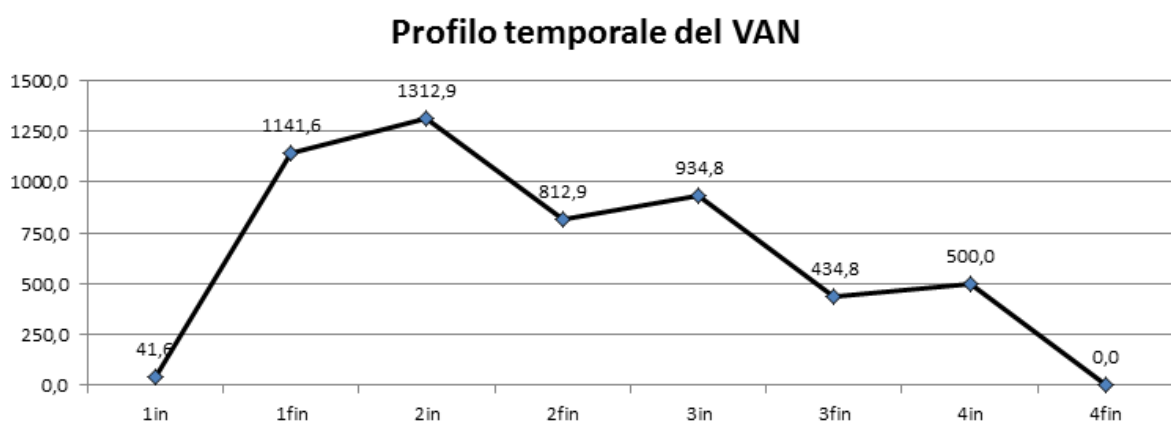


Figura 3.3: Andamento di flusso

Introducendo le OR nei vari nodi dell'albero binomiale, in sostituzione al normale valore attuale⁵, si realizza l'analisi tramite OR.

L'utilizzo di un foglio di calcolo elettronico in abbinato alla metodologia ad albero è molte volte esauriente, ma esiste anche chi, non accontentandosi delle ristrette possibilità rappresentabili in un foglio di calcolo preferisce ragionare adattando alle OR l'analisi basata sulle simulazioni. Tale metodologia viene usata per meglio modellare la valutazione dell'incertezza e la più comune è detta analisi Monte Carlo. Senza entrare nel dettaglio, questa metodologia fissa degli assunti e dei contorni limite. All'interno di essi fa variare i valori in maniera casuale tramite funzioni contenenti dei valori random. Ripetendo migliaia e migliaia di volte tale operazione riesce, di fatto, a osservare con migliore sicurezza le probabilità dei vari scenari possibili e permette di trattare più agevolmente la combinazione di più variabili. Sicuramente tale procedimento, magari anche solo per la definizione dei limiti dell'incertezza dell'asset sottostante al nostro investimento raffina i risultati ottenibili rispetto ad una semplice trattazione ad albero. Bisogna sottolineare nuovamente però, come le OR necessitano di non essere rappresentate come scatole chiuse agli occhi dei decisori. Si possono tranquillamente tralasciare tali tecniche⁶ per la comprensione e l'utilizzo iniziale delle OR, aggiungendole ad un modello di base ad albero binomiale che si è già dimostrato essere solido.

3.4 TIPI DI OPZIONI REALI

In letteratura non esiste una suddivisione ufficiale delle OR e la maggior parte di chi se ne occupa con scopi divulgativi approfondisce solo alcuni tipi di opzioni, trascurandone altri. Ciò è dovuto sia alla relativa novità che tale metodologia rappresenta, sia al fatto che realmente ogni investimento non permette l'utilizzo di tutte le tipologie di opzione.

Le OR studiate fino ad ora si suddividono in tre grandi blocchi:

- - opzioni semplici: considerano la presenza di una sola opzione per volta e di una sola fonte di incertezza; sono:
 - Opzione Reale abbandono o Opzione Reale d'uscita (option to abandon o option to exit): la possibilità di interrompere il proseguimento dell'investimento ricavando o meno un predeterminato valore. Si prevede la semplice interruzione se l'investimento dovesse diventare a valore negativo oppure una vendita dell'impianto se il valore pattuito di vendita diventi maggiore del ritorno da esso atteso. Un sotto caso è l'Opzione Reale prolungamento che rappresenta l'opportunità, a fronte di una determinata spesa, di prolungare la vita dell'investimento⁷ ;
 - Opzione Reale contrazione/espansione o Opzione Reale d'ampliamento/riduzione (option to expand/contract): la possibilità di variare la taglia dell'investimento sia in positivo che in negativo a fronte di una relativa spesa o risparmio (come nell'esempio introduttivo capitolo 1);
 - Opzione Reale differire (option to defer o option to waiting to invest): la possibilità di non effettuare l'investimento nell'immediato, lasciando aperta l'opportunità di realizzarlo in un momento successivo. Valuta il miglior istante in cui investire pesando sia il valore dell'asset sottostante sia l'andamento del costo d'investimento;
 - Opzione Reale conversione o Opzione Reale di flessibilità (option to switch): la possibilità di scegliere tra due modalità operative, pagando il costo per suddetta variazione. L'utilizzo classico, nell'ambito della produzione da rinnovabile, è riferito agli impianti a biogas. Potendo funzionare con più tipologie di carburante si prevede la possibilità di variare l'alimentazione, scegliendo, ogni volta, il combustibile a minor prezzo nel caso il costo di variazione lo renda conveniente. Un sotto caso dell'OR conversione è l'OR sospensione temporanea che rappresenta una modalità operativa a rendimento nullo caratterizzata da costi di ripartenza e di manutenzione.
- opzioni di opzioni (opzione d'apprendimento, opzioni di crescita, opzione di ricerca o opzioni composte – time to build option, option to stage, option to grow o compound option): derivano dalla divisione dell'investimento in più fasi; ogni fase è vista come opzione sul valore delle successive fasi perché alla conclusione di

⁵Come presentato dettagliatamente nei prossimi capitoli.

⁶Nel caso di volontà di approfondimento: Blanco G, Olsina F, Garces F, Rehatanz C. Real options valuation of facts investments based on the least square Monte Carlo method. IEEE Transaction on Power Systems 2011;26:1389-98.

⁷L'Opzione Reale prolungamento indicata come un sotto caso dell'OR abbandono può anche essere vista come un'opzione d'opzione in cui la seconda fase del progetto, anziché essere un nuovo impianto, è il prolungamento dello stesso.

ogni fase è possibile abbandonare il progetto o procedere con la fase successiva; ogni suddivisione è trattata come un investimento a se stante e come tale può essere dotata a propria volta di un'opzione semplice oppure esserne priva. Nella molteplicità delle combinazioni possibili la differenziazione principale è fra le seguenti:

- opzioni che prevedono un ritorno economico solamente nell'ultima fase: per esempio lo sviluppo di un prodotto che verrà lanciato sul mercato solamente nel caso il prototipo sia conforme alle esigenze normative e/o risulti economicamente conveniente in base al futuro stato del mercato;
- opzioni che non prevedono il ritorno economico solamente nell'ultima fase: per esempio la realizzazione di un progetto pilota per l'esplorazione di un nuovo mercato. Esso potrà permettere, oltre alla realizzazione di un proprio guadagno, l'apprendimento dei meccanismi specifici di tale mercato; di conseguenza si potrà essere in grado di massimizzare l'investimento successivo e realizzarlo solamente nel caso il nuovo stato delle cose ne dimostri la fattibilità;
- opzioni multiple o opzioni arcobaleno: rappresentano la combinazione di più opzioni (sia opzioni semplici che opzioni di opzioni) e/o la combinazione di più incertezze. Le incertezze e le opzioni possono essere fra loro sia correlate sia indipendenti. Le opzioni multiple comportano una complicazione matematica non indifferente: introducendo un grado di incertezza superiore la credibilità dei risultati diminuisce. I managers, dovendo scegliere fra più alternative, privilegiano risultati scaturiti nella minor incertezza possibile, essendo questi caratterizzati da un minor rischio complessivo. Nelle trattazioni generali, si evita quindi la combinazione di più incertezze; la presenza di opzioni multiple è, dal punto di vista del rischio percepito, più accettabile. La difficoltà di trattare più opzioni contemporaneamente è di natura strettamente matematica e richiede una specificità dell'investimento trattato. In letteratura, fino ad ora, si è preferito mantenersi su esempi il più generici possibili, lasciando al manager esperto il compito di introdurre più opzioni in relazione al particolare progetto di suo interesse.

Un ulteriore sviluppo delle opzioni è la possibilità di considerare i meccanismi che regolano la concorrenza: un esempio molto citato, ma mai approfondito, è l'introduzione della teoria dei giochi all'interno della metodologia OR⁸.

3.5 OPZIONI REALI NEL FOTOVOLTAICO

3.5.1 Opzione Reale espansione / contrazione

L'investimento in un impianto fotovoltaico, come illustrato nel capitolo 1.2, si può considerare caratterizzato da un singolo esborso iniziale e da una produzione di energia costante durante tutta la vita dell'impianto. Ipotizzando l'assenza di un sistema di accumulo o scambio con la rete, l'energia prodotta istantaneamente deve o essere auto-consumata o venire ceduta alla rete. Il valore dell'energia prodotta è quindi legato al valore di autoconsumo e di vendita dell'energia e alle rispettive quantità. I valori di autoconsumo e di vendita derivano dal quadro normativo e dal contratto energetico del singolo utente, ma sono in ogni caso riconducibili al prezzo d'acquisto dell'energia. L'incertezza dell'investimento è perciò il valore dell'energia d'acquisto e il flusso di cassa dell'investimento ha un esborso iniziale equivalente al costo d'impianto e, in ogni anno, un flusso positivo equivalente al risparmio in bolletta per l'energia auto-consumata maggiorato del ricavo per l'energia venduta (figura 3.4).

Ipotizzando un costo per l'impianto di 3.000€, un prezzo d'acquisto dell'energia di 0,26€/kWh, un valore dell'energia auto-consumata equivalente al prezzo d'acquisto e un valore di vendita pari al 40% del prezzo d'acquisto. Il tasso di attualizzazione aziendale è 7% mentre il tasso di rendimento senza rischio è 3%. L'impianto produce ogni anno 4.000kWh e l'autoconsumo corrisponde al 60% della produzione.

Ogni anno ci si aspetta un aumento del valore dell'elettricità ma rimane l'incertezza sull'entità di tale aumento. Ipotizzando un aumento massimo del 50% e uno minimo del 10% entrambi dotati della stessa probabilità e una durata di vita dell'investimento di 3 anni.

I dati ipotizzati non sono realistici ma semplificano notevolmente l'esempio, rendendolo di immediata comprensione (tabella 3.1).

Il primo anno di produzione si prevede un risparmio (= ricavo R) di:

$$R_A = E_a \cdot C_a + E_v \cdot C_v = 2.400 \cdot 0,26 + 1.600 \cdot 0,104 = 790,4\text{€} \quad (3.27)$$

⁸Per approfondimenti: Marion A. Brach, *Real Options in practice*, John Wiley & Sons, Inc 2003 cap da 7 a 10; e Tom Copeland e Vladimir Antikarov, *Opzioni Reali Tecniche di analisi e valutazione*, Ed. Il Sole 24 Ore, traduzione di Nanni Negro, cap 12.

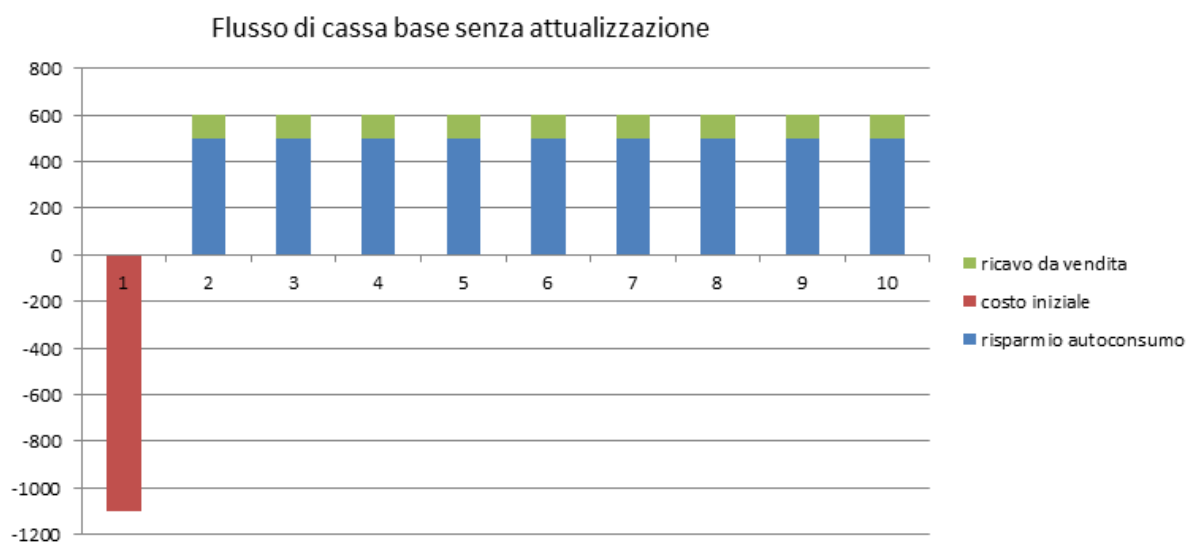


Figura 3.4: Flusso di cassa base

costo iniziale	Inv	3.000€
Valore elettricità acquistata primo anno	C_{e1}	0,26€/kWh
Valore energia auto-consumata	C_a	100% $C_e=0,26€/kWh$
Valore energia venduta	C_v	40% $C_e=0,104€/kWh$
Energia prodotta	E	4000kWh/a
Energia auto-consumata	E_a	60% $E=2.400kWh/a$
Energia venduta	E_v	40% $E=1.600kWh/a$
Tasso di sconto aziendale	t_s	5%
Tasso di sconto senza rischio	t_r	3%
Aumento max annuo valore elettricità	u	50%
Relativa probabilità oggettiva	q	50%
Aumento min annuo valore elettricità	d	10%
Relativa probabilità oggettiva	$1 - q$	50%

Tabella 3.1: Tabella dati esempio

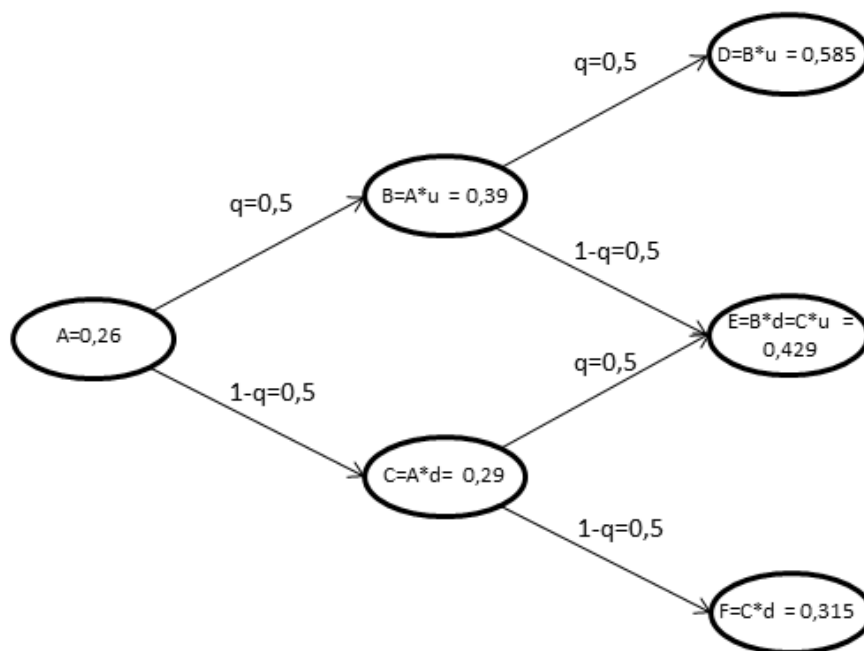


Figura 3.5: Albero andamento elettricità

Per valutare l'andamento del prezzo dell'elettricità si costruisce il relativo albero binomiale (figura 3.5).

Per ogni nodo dell'albero si può calcolare il risparmio come da formula 3.27, ricavando così l'albero dei flussi di cassa positivi (figura 3.6).

Calcolando il profilo temporale del VAN del progetto, partendo dai nodi nell'ultimo anno e considerando che il risparmio è concentrato alla fine dell'anno, il valore finale (VA_j^{fin}) dell'investimento è nullo e quindi il valore dei nodi all'inizio del terzo anno è rappresentato dal solo risparmio conseguito in quel j nodo (R_j). Per trovare il valore nei nodi alla fine del secondo anno si deve fare la media pesata delle possibilità a valle di quel determinato nodo e attualizzare il risultato al tasso aziendale. Il valore all'inizio del secondo anno è il valore finale aggiunto al risparmio avuto in quella determinata situazione. Il tutto si ripete fino all'individuazione del valore iniziale che equivale al valore attuale dell'investimento (VA_A^{in}). Per individuare il VAN si deve quindi sottrarre il costo dell'investimento.

$$VA_{D,E,F}^{fin} = 0 \quad (3.28)$$

$$VA_D^{in} = R_D = 1778\text{€} \quad (3.29)$$

$$VA_E^{in} = R_E = 1304\text{€} \quad (3.30)$$

$$VA_F^{in} = R_F = 956\text{€} \quad (3.31)$$

$$VA_B^{fin} = \frac{VA_D^{in} \cdot q + VA_E^{in} \cdot (1-q)}{(1+t_s)} = \frac{1778 \cdot 0,5 + 1304 \cdot (1-0,5)}{(1+0,05)} = 1468\text{€} \quad (3.32)$$

$$VA_C^{fin} = \frac{VA_E^{in} \cdot q + VA_F^{in} \cdot (1-q)}{(1+t_s)} = \frac{1304 \cdot 0,5 + 956 \cdot (1-0,5)}{(1+0,05)} = 1076\text{€} \quad (3.33)$$

$$VA_B^{in} = VA_B^{fin} + R_B = 1468 + 1186 = 2653\text{€} \quad (3.34)$$

$$VA_C^{in} = VA_C^{fin} + R_C = 1076 + 869 = 1946\text{€} \quad (3.35)$$

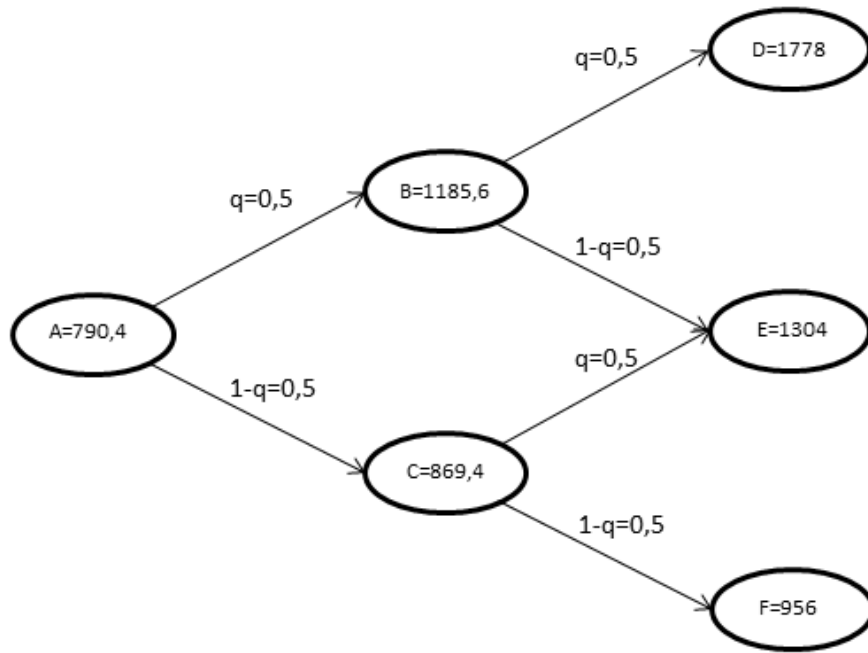


Figura 3.6: Albero flussi di cassa positivi

$$VA_A^{fin} = \frac{VA_B^{in} \cdot q + VA_C^{in} \cdot (1-q)}{(1+t_s)} = \frac{2653 \cdot 0,5 + 1946 \cdot (1-0,5)}{(1+0,05)} = 2190\text{€} \quad (3.36)$$

$$VA_A^{in} = VA_A^{fin} + R_A = 2190 + 790 = 2981\text{€} \quad (3.37)$$

Si avrà perciò un andamento di valore del nostro investimento come quello rappresentato in figura (figura 3.7).

$$VAN = VA_A^{in} - Inv = 2981 - 3000 = -19\text{€} \quad (3.38)$$

Con l'introduzione dell'OR espansione, all'inizio del terzo anno, spendendo 180€ si ha la possibilità di aumentare la quota di autoconsumo; nella realtà potrebbe equivalere al fatto di poter alimentare tramite fotovoltaico un'utenza attualmente inserita in uno stabilimento terzo collegato alla sola rete, per cui i 180€ sarebbero i costi di trasferimento di tale utenza (X).

Trasferire l'utenza comporta l'aumento della quota di autoconsumo per un valore di +20%. Ciò implica un cambiamento nel flusso del solo terzo anno che diventa per ogni j nodo

$$E'_a = E_a + 20\% = 4000 \cdot (0,6 + 0,2) = 3200\text{kWh} \quad (3.39)$$

$$E'_v = E_{tot} - E'_a = 4000 - 3200 = 800\text{kWh} \quad (3.40)$$

$$R_{ORj} = E'_a \cdot C_{aj} + E'_v \cdot C_{vj} - X \text{ con } j = D, E, F \quad (3.41)$$

Volendo ragionare con le probabilità prive di rischio (p), utilizzando il concetto di Mad, si ha:

$$p = \frac{(1+t_r) \cdot VA_A^{fin} - VA_C^{in}}{VA_B^{in} - VA_C^{in}} = \frac{(1+0,03) \cdot 2190 - 1946}{2653 - 1946} = 0,438 \quad (3.42)$$

e in ogni j nodo finali del nostro albero il nuovo valore da considerare è

$$R_i = \text{MAX}(R_j; R_{ORj}) \text{ con } i = D, E, F \quad (3.43)$$

e l'albero binomiale diventa quello mostrato in figura 3.8.

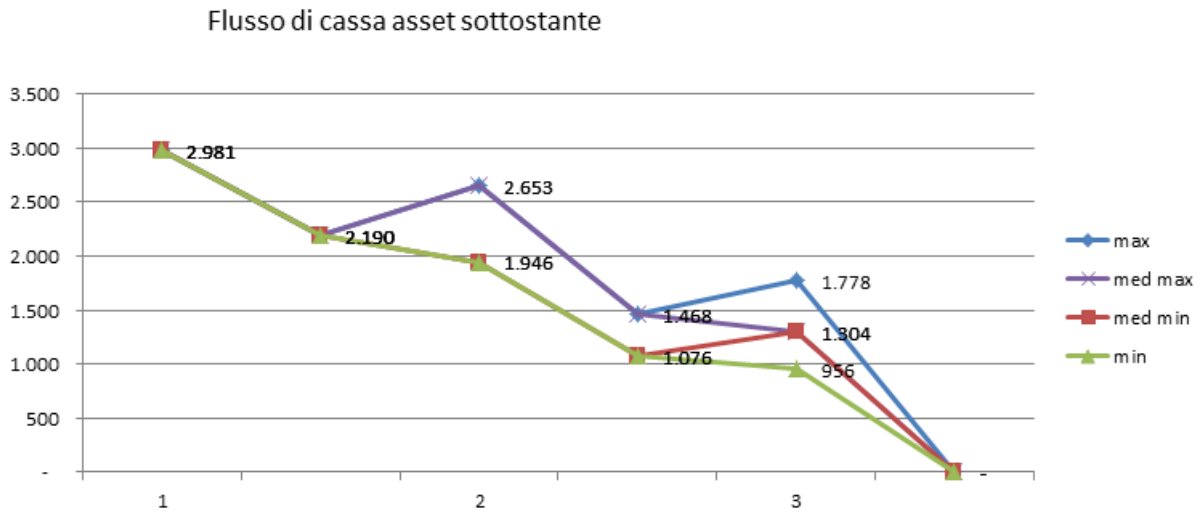


Figura 3.7: Andamento del VA

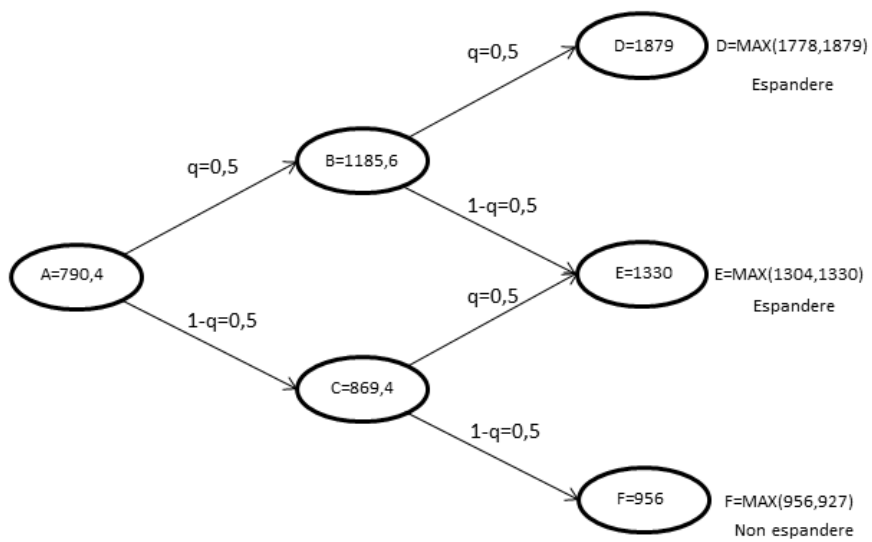


Figura 3.8: Nuovo albero OR

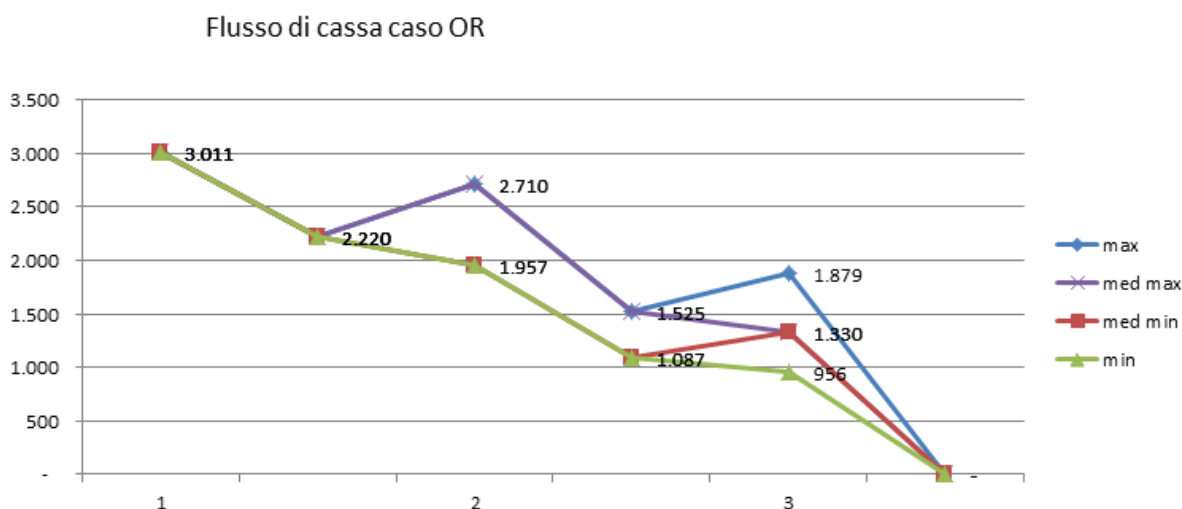


Figura 3.9: Andamento di flusso con OR

Applicando lo stesso procedimento, ma utilizzando la probabilità priva di rischio e il tasso privo di rischio si costruisce il nuovo profilo temporale (figura 3.9) da cui il valore di OR (tramite le formule da 3.28 a 3.37).

$$OR = VA_{AOR}^{in} - Inv = 3011 - 3000 = 11\text{€} \quad (3.44)$$

$$ValoreOR = VA_{AOR}^{in} - VA_A^{in} = 3011 - 2981 = 30\text{€} \quad (3.45)$$

o anche calcolabile come

$$ValoreOR = OR - VAN = 11 - (-19) = 30\text{€} \quad (3.46)$$

Il risultato dell'analisi tramite Opzioni Reali (OR) è maggiore del VAN e la loro differenza è il valore dell'OR espansione. Si noti come il VAN da un risultato minore anche nel caso in cui si preveda l'espansione in tutti i nodi finali (figura 3.10 e tramite formule da 3.28 a 3.37), mentre l'analisi OR evidenzia la maggior redditività della possibilità di decidere per l'espansione una volta conosciuto il valore raggiunto dall'elettricità.

$$VAN_{es} = VA_{es} - Inv = 3002 - 3000 = 2\text{€} \quad (3.47)$$

Il valore dell'opzione è perciò la differenza fra VAN e OR. Tale valore non è elevato, ma è comunque decisivo. Il valore esiguo è una conseguenza del breve interesse temporale considerato e delle condizioni dell'esempio trattato. Tale ristretto valore è un'ulteriore dimostrazione di come le OR non siano uno stravolgimento dell'analisi VAN.

L'Opzione Reale contrazione segue le stesse regole dell'Opzione Reale espansione, dove però la variazione dell'autoconsumo ha segno negativo e il costo per la variazione dell'autoconsumo si trasforma in un guadagno. Nella realtà, si può ipotizzare che fra 3 anni si preveda la vendita di un'utenza.

Un'ulteriore fonte di espansione della quota di autoconsumo da produzione di fotovoltaico potrebbe essere legata alla semplice redistribuzione del proprio carico elettrico. Ridistribuzione che comporterebbe dei costi per il monitoraggio delle curve elettriche e per l'effettiva realizzazione della variazione.

3.5.2 Opzione Reale abbandono

L'Opzione Reale abbandono rappresenta una delle opzioni più semplici da comprendere e trattare. Normalmente si utilizza in quelle situazioni in cui si può ritenere di ottenere un determinato valore dalla vendita dell'impianto (V_{abb}), valore che si calcola essere maggiore del guadagno che l'investimento genererà.

Utilizzando l'esempio precedente è difficile ipotizzare un valore futuro per un impianto fotovoltaico. Molti venditori affermano che un impianto fotovoltaico aumenti il valore di un immobile, ma prevedere di riuscire a

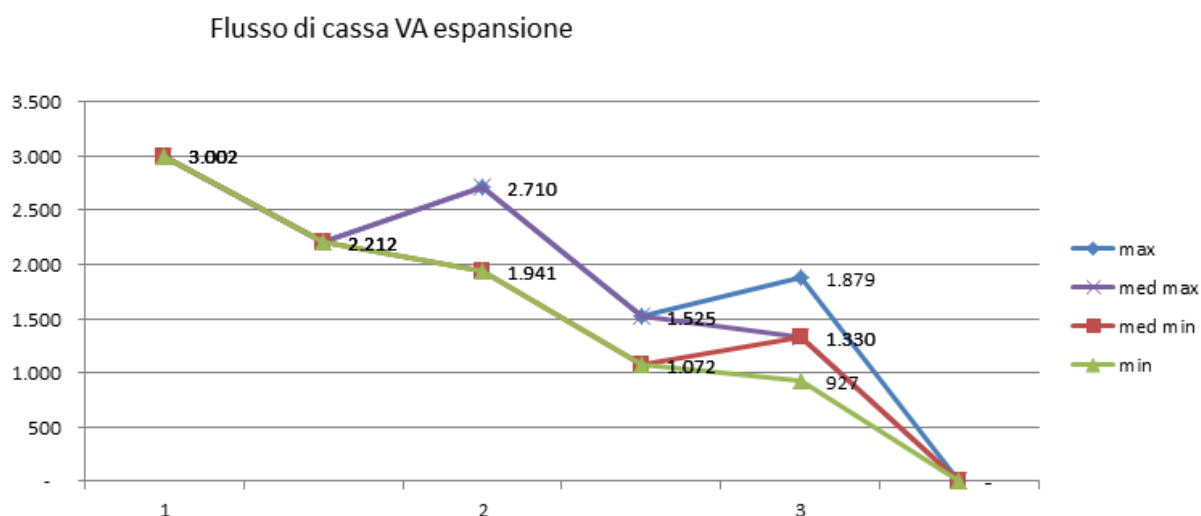


Figura 3.10: Andamento con espansione

vendere il solo impianto fotovoltaico ad un prezzo maggiore del rendimento da esso atteso non è realistico e difficilmente un manager accetterebbe un aumento della previsione del valore attuale legato a tale possibilità.

Ipotizzando di essere nella fase di contrattazione del prezzo d'acquisto dei pannelli fotovoltaici, tramite il calcolo VAN si individua come non sia conveniente l'investimento (formula 3.38). Discutendo con la ditta fornitrice dei pannelli, essa contestata la previsione dell'andamento futuro del prezzo dell'elettricità e non vuole ridurre il costo dei pannelli. Per misurare la sicurezza sul prezzo futuro dell'elettricità si può proporre una clausola che vincoli l'azienda venditrice a ricomprare l'impianto nel caso l'elettricità raggiunga il valore da noi ipotizzato. L'Opzione Reale abbandono, introducendo come incognita il valore di vendita, rappresenta il corretto modo per calcolare il valore di tale opzione.

Andando a inserire, nel precedente esempio, la possibilità di sostituire il risparmio atteso nel terzo anno con il valore di abbandono di 1021€

$$R_j = \text{MAX}(VA_j; V_{abb}) \text{ con } j = D, E, F \quad (3.48)$$

l'analisi OR dimostra che l'investimento non è più in perdita (figura 3.11 e formule da 3.28 a 3.37).

Utilizzando un foglio di calcolo è facile individuare il valore d'abbandono corretto anche solo procedendo per tentativi; nulla comunque vieta di ricavare il valore corretto ponendo l'OR come nullo e il valore di vendita fissato come incognita. Tramite OR abbandono si riesce a trovare quindi la perfetta cifra che permette di riportare a zero il valore attuale netto dell'investimento.

Ragionando rispetto al mondo reale, un impianto fotovoltaico potrebbe presentare un valore di abbandono legato anche al terreno o al tetto sul quale è installato. Aumentando di valore nel tempo tale terreno potrebbe far risultare più conveniente l'azione di abbandonare l'impianto e vendere la proprietà del terreno. Nell'istante in cui si considera l'acquisto di un terreno per l'installazione del fotovoltaico si deve tenere presente anche la suddetta possibilità, l'OR abbandono fornisce gli strumenti adatti per tali considerazioni.

Un manager pessimista sull'andamento del prezzo dell'elettricità, considerando un orizzonte temporale molto maggiore di quello dell'esempio e introducendo il costo di manutenzione, può giungere a prevedere per "i rami più pessimisti dell'albero" flussi di cassa negativi. L'OR abbandono permette di considerare che nella realtà esiste la possibilità di interrompere la manutenzione ed evitare di spendere più soldi rispetto a quelli che il fotovoltaico renderebbe. Per farlo in maniera semplice basta porre la condizione matematica per cui i valori negativi vengano sostituiti da uno zero. Se si vuole invece una trattazione più realistica si può prevedere una riduzione del costo di manutenzione fino al valore minimo che permetta di continuare a produrre; in tale caso ovviamente si deve considerare anche la riduzione di produzione dovuta alla mancata realizzazione ottimale della manutenzione (esempio: si prevede di non sostituire i pannelli danneggiati e di non realizzare la pulizia degli stessi, limitandosi a controllare lo stato dei collegamenti elettrici e delle apparecchiature strettamente necessarie).

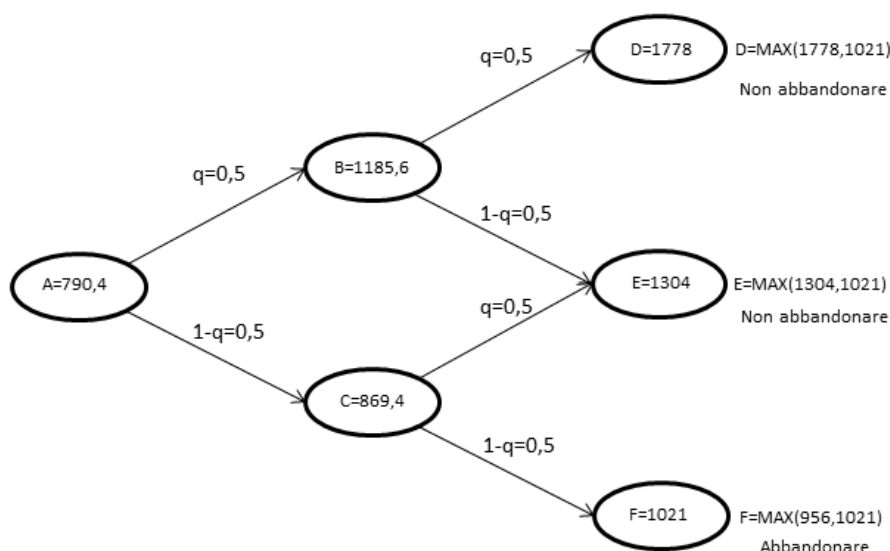


Figura 3.11: Albero OR abbandono

3.5.3 Opzione Reale differire

L'Opzione Reale differire serve a valutare il miglior momento per installare l'impianto. Ipotizzando la variazione del prezzo dell'energia e del costo di installazione dei pannelli, si calcola se convenga installare immediatamente l'impianto o ritardarne la costruzione, pesando la possibilità di realizzare l'impianto negli anni successivi. Attualmente è l'OR più investigata in letteratura, ma la maggioranza dei papers si basano sulle PDE utilizzando la varianza del valore dei contratti a lungo termine dell'elettricità nei mercati appositi. Utilizzando l'albero binomiale è comunque possibile valutare l'OR differire. La tecnica consiste nel costruire l'albero dei flussi di cassa, ipotizzare la costruzione dell'impianto in ogni nodo e confrontare il valore di ogni nodo con il valore scaturito dalla media pesata ed attualizzata dei due nodi a valle. Utilizzando gli stessi dati del caso precedente, si introduce l'ipotesi che il prezzo dell'impianto cali annualmente di un valore percentuale (r_{caloFV}) ricavando i valori mostrati nelle figure 3.12, 3.13 e 3.14.

$$Inv_j = Inv_{j-1} \cdot (1 - r_{caloFV}) \text{ con } j = 2, 3 \quad (3.49)$$

$$VAN_j = VA_j^i - Inv_j \text{ con } j = A, B, C, D, E, F \quad (3.50)$$

$$OR_{difj} = \frac{p \cdot VAN_{j+1} + (1-p) \cdot VAN_{j+2}}{(1+r)} \quad \text{con } j = A, B, C, D, E, F \quad (3.51)$$

$e j + 1, 2 = \text{nodi a valle di } j$

$$OR_j = MAX(VAN_j; OR_{difj}) \text{ con } j = A, B, C, D, E, F \quad (3.52)$$

Si osservi come non sempre la scelta ottimale coincida con il realizzare l'investimento e ciò è vero anche nel caso il VAN risulti positivo già dal primo anno.

3.5.4 Opzione Reale prolungamento

Gli impianti fotovoltaici sono assicurati mediamente per 20 anni, ma è realistico considerare che tramite la sostituzione di una buona parte dei pannelli e di una ristretta parte dei sistemi ausiliari si possa già ora prevedere un prolungamento di vita dell'impianto. Nel caso si voglia considerare un arco di tempo più ridotto si può comunque calcolare quanto varrebbe l'opzione di prolungare la vita dell'impianto fino ai 20 anni. L'OR prolungamento permette di valutare come la realizzazione di tale opzione sarà determinata dal valore futuro del prezzo dell'elettricità. Ipotizzando che pagando la cifra di 1.400€ all'inizio del quarto anno ci venga assicurato un ulteriore anno di produzione, si calcoli il valore di tale opzione. Si deve espandere l'albero del prezzo dell'energia per un ulteriore anno (figura 3.15).

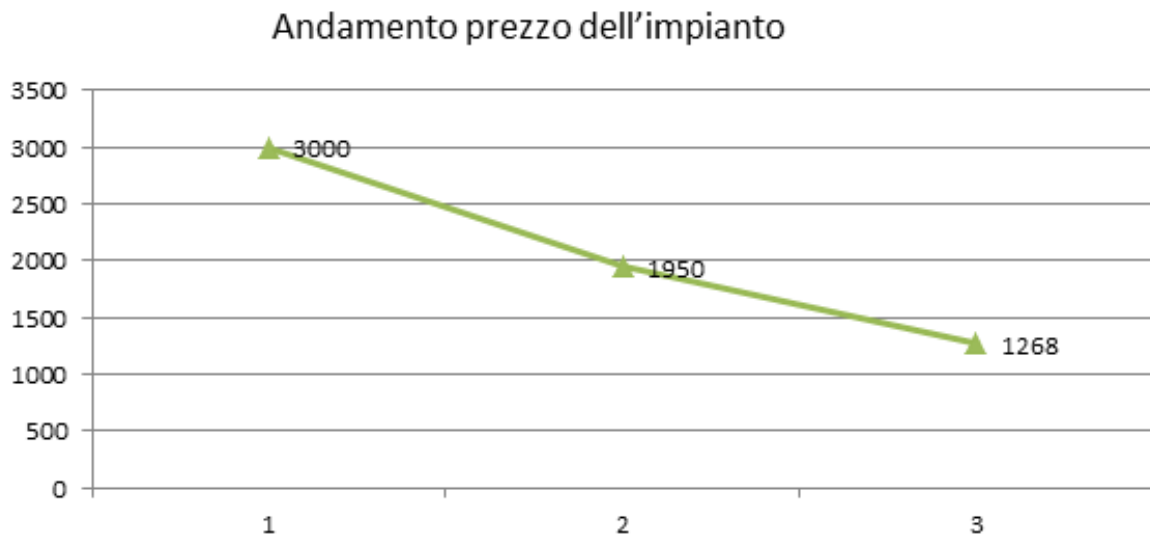


Figura 3.12: Andamento prezzo dell'impianto

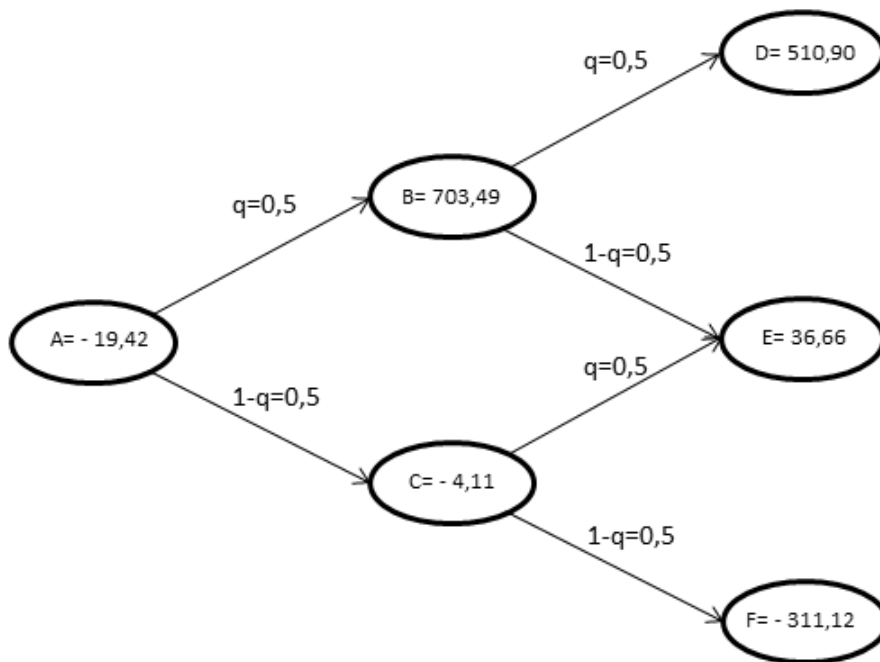


Figura 3.13: Albero VAN vari nodi non attualizzati

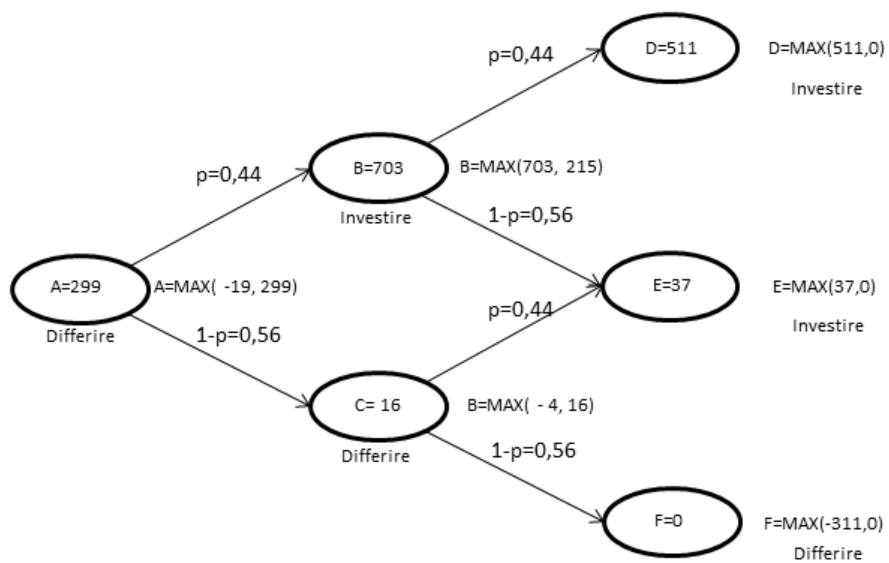


Figura 3.14: Albero OR con scelte possibili in ogni nodo

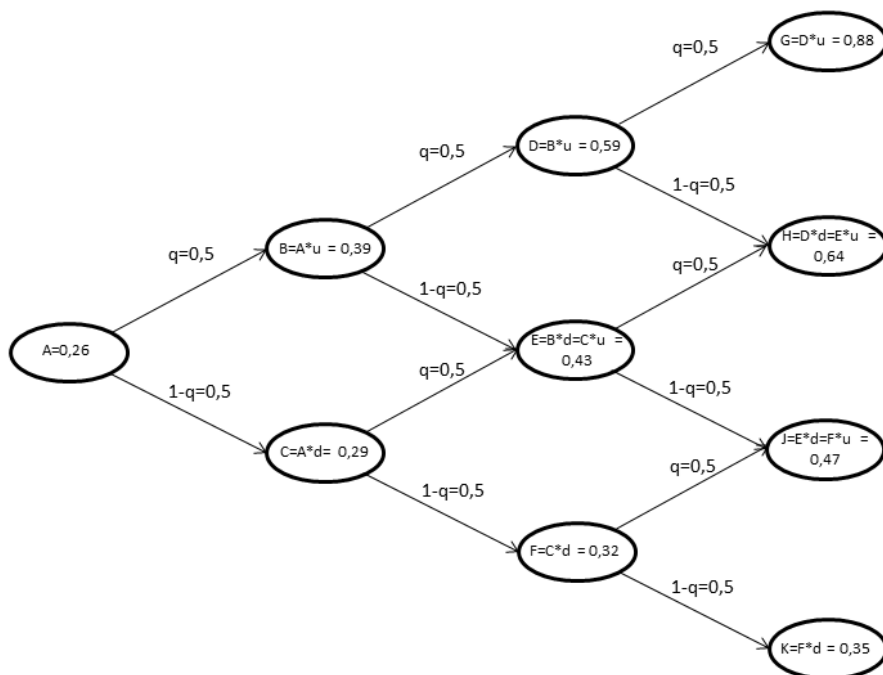


Figura 3.15: Albero valore dell'energia prolungato

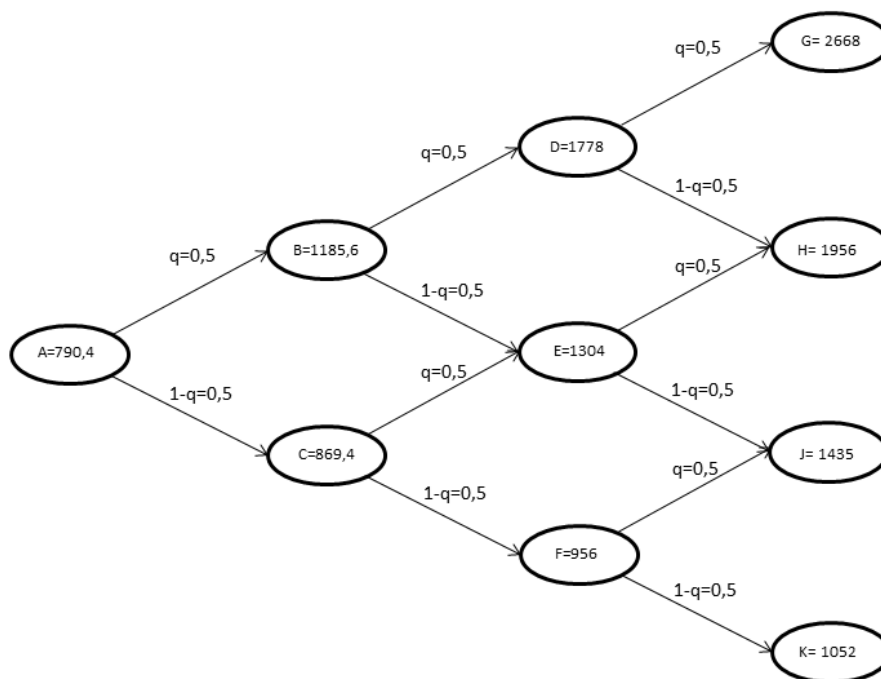


Figura 3.16: Albero flussi prolungato

E calcolare, anche per i nuovi nodi, il flusso di cassa atteso (tramite formule da 3.39 a 3.41) correggendo il relativo valore dell'investimento alla fine del terzo anno (figura 3.16).

L'analisi tramite opzioni si realizza introducendo nel calcolo del valore attuale il confronto fra i due valori a fine terzo anno e procedendo a ritroso come già esposto (figura 3.17).

$$R_j = \text{MAX}(R_{j\text{norm}}; R_{j\text{prol}}) \text{ con } j = D, E, F \quad (3.53)$$

$$OR = VA_A^{OR} - Inv = 3252 - 3000 = 252\text{€} \quad (3.54)$$

3.5.5 Opzione Reale ricerca (e/o sviluppo)

L'Opzione Reale ricerca (e/o sviluppo) rappresenta un'opzione d'opzione multipla e, da definizione, è caratterizzata dalla presenza di più fasi fra loro economicamente indipendenti, caratterizzate da più incertezze o più opzioni. L'opzione basilare consiste nel valutare che, a conclusione della prima fase, esiste la possibilità (non il dovere) di realizzare la seconda fase. Entrambe le fasi possono contenere una propria opzione e essere comandate da diverse e/o molteplici incertezze.

Esistono nazioni che fino ad ora non hanno sviluppato le fonti di energie rinnovabili ma che, basandosi sulle dichiarazioni di intenti dei governi al potere o sui vincoli ambientali già firmati, nei prossimi anni potrebbero diventare i nuovi mercati del fotovoltaico. L'interesse delle industrie fotovoltaiche per tali mercati è sempre più crescente, ma molte sono le incognite. Si è spesso in presenza di scarsa documentazione relativa allo stato del mercato energetico e della rete elettrica, difficilmente si hanno contatti con il mondo imprenditoriale locale e l'incertezza sulle garanzie normative future di sostegno al fotovoltaico non può essere sottovalutata. Di fronte a tali problematiche una pratica aziendale comune è la suddivisione dell'investimento in più fasi. Si concentrano gli sforzi iniziali in una fase che miri a prendere familiarità con il mercato e a stringere i primi contatti con il mondo aziendale e politico. Acquisire il così detto "know-how" per la realizzazione della fase successiva, che prevede un più massiccio investimento e potrebbe portare ad un ritorno economico più interessante.

L'utilizzo della OR ricerca (e/o sviluppo) permette di considerare il fatto che la seconda fase non avverrà in ogni caso, ma solo nel caso in cui la fase di ricerca andrà a buon fine. La fase di ricerca può essere sia una consulenza sia la realizzazione di un progetto pilota di scala ridotta. In entrambi i casi il rendimento della sola prima fase è spesso negativo, e sicuramente lo è nel caso della consulenza. In quest'ottica è errato considerare gli investimenti

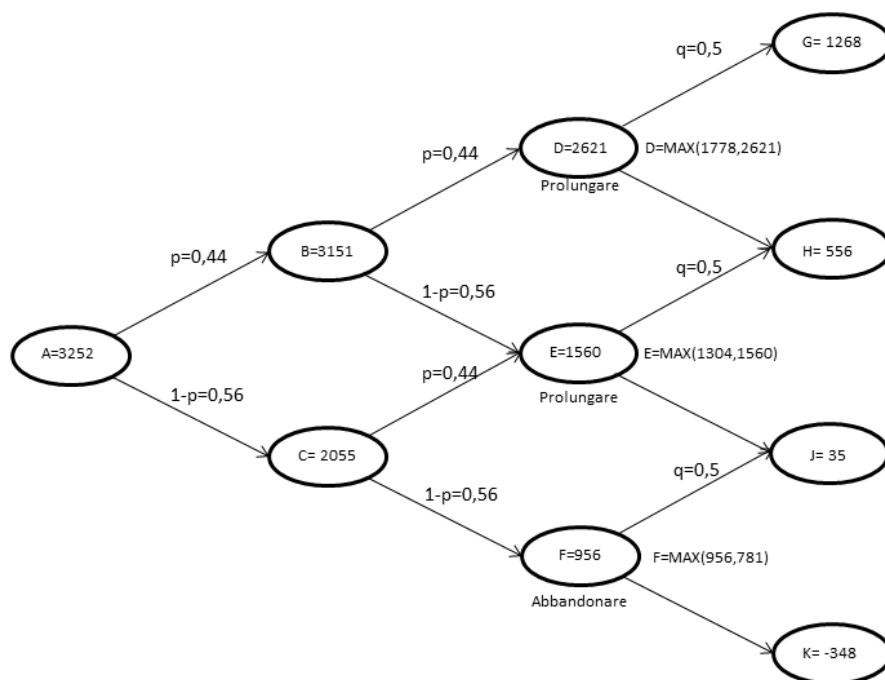


Figura 3.17: Albero OR prolungato

scolligati, perché le perdite del primo saranno coperte dal secondo, spesso implicando un maggior guadagno nella seconda fase.

Si deve considerare che dopo la realizzazione del primo investimento, oltre a conoscere il valore dell'energia (condizione utilizzata fino ad ora) è prevedibile che si riesca a individuare meglio il terreno più ottimale su cui realizzare l'impianto o l'azienda più energivora a cui proporre l'uso del fotovoltaico, e/o che si avrà maggior confidenza con le aziende locali che accetteranno il prodotto a costi maggiori rispetto ad un nuovo player del mercato. Sicuramente verrà osservato lo sviluppo della normativa di sostegno alle rinnovabili e si potrà valutare adeguatamente gli incentivi statali e il quadro normativo energetico.

L'OR ricerca (e/o sviluppo) si basa su una struttura diversa rispetto all'esempio valutato fino ad ora. Si deve prevedere il ritorno del primo investimento e i possibili ritorni attesi della seconda fase in base alle considerazioni indicate precedentemente. A tali rendimenti della seconda fase si deve assegnare una probabilità e, nel caso il guadagno sia minore di zero, si deve considerare il fatto che nella realtà non si realizzerà tale seconda fase preferendo abbandonare il mercato.

L'incertezza sottostante l'investimento è doppia, una sarà legata all'andamento del valore del nostro asset, l'altra sarà legata alla riuscita o meno della fase di ricerca.

Ipotizzando che si voglia installare un grande impianto in una nazione in via di sviluppo, di cui si conosce poco ma si crede di poter eseguire un buon investimento, la prima fase, della durata di un anno, prevede lo studio della situazione attuale e l'individuazione di un terreno o di un'azienda adatta all'utilizzo del fotovoltaico. L'analisi costerà 10.000€ con una probabilità di riuscita dell'80%; in caso contrario si abbandonerà il progetto. Se la ricerca iniziale andrà a buon fine si prevedono due alternative: la prima consiste nell'installare subito l'impianto ad un costo di 500.000€ per la produzione annua di 450.000 kWh; la seconda prevede l'attesa di un ulteriore anno per osservare l'andamento del valore dell'energia, meglio contrattare le condizioni dell'investimento ed individuare la quantità ottimale di energia da produrre. Tale fase costerà 30.000€; se le contrattazioni andranno a buon fine (25% delle probabilità) il costo d'installazione scenderà a 400.000€; se invece andranno male, magari per l'entrata nel mercato di qualche competitor, si prevede di dover aumentare l'offerta per i terreni migliori ad un valore di 600.000€. In entrambi i casi si prevede di aumentare il quantitativo di energia prodotta del 5%. I tassi utilizzati sono gli stessi dell'esempio precedente. Il valore attuale dell'energia è di 0,15 €/kWh e si prevede che aumenterà annualmente di un 10% con una probabilità del 55% oppure aumenterà annualmente di solo un 5% (tabella 3.2 e figura 3.18).

L'incertezza relativa al valore dell'energia è visibile nella figura 3.19, mentre nella figura 3.20 è indicata l'incertezza legata alle fasi di analisi-contrattazione (incertezza di mercato). Nella figura 3.21 viene indicato l'albero

Dati generali		
Tasso di attualizzazione industriale	t_s	7%
Tasso di attualizzazione privo di rischio	t_r	3%
Valore attuale energia	c_e	0,15 €/kWh
Aumento max annuo energia	u	10%
Relativa probabilità oggettiva	q_e	55%
Aumento min annuo energia	D	5%
Relativa probabilità oggettiva	$1 - q_e$	45%
Fase 1		
Costo	I_1	10.000€
Probabilità di riuscita oggettiva	q_1	80%
Probabilità di fallimento oggettiva	$1 - q_1$	20%
Fase 2 caso investire		
Costo	I_{2in}	500.000€
Energia prodotta annua	E_2	450.000 kWh
Fase 2 caso test		
Costo	I_{2t}	30.000€
Probabilità di riuscita oggettiva	q_2	25%
Probabilità di fallimento oggettiva	$1 - q_2$	75%
Fase 3 test riuscito		
Costo	I_{3s}	400.000€
Energia prodotta annua	E_{3s}	$E_2 + 5\% = 472.500\text{€}$
Fase 3 test fallito		
Costo	I_{3n}	600.000€
Energia prodotta annua	E_{3n}	$E_2 + 5\% = 472.500\text{€}$

Tabella 3.2: Tabella dati esempio

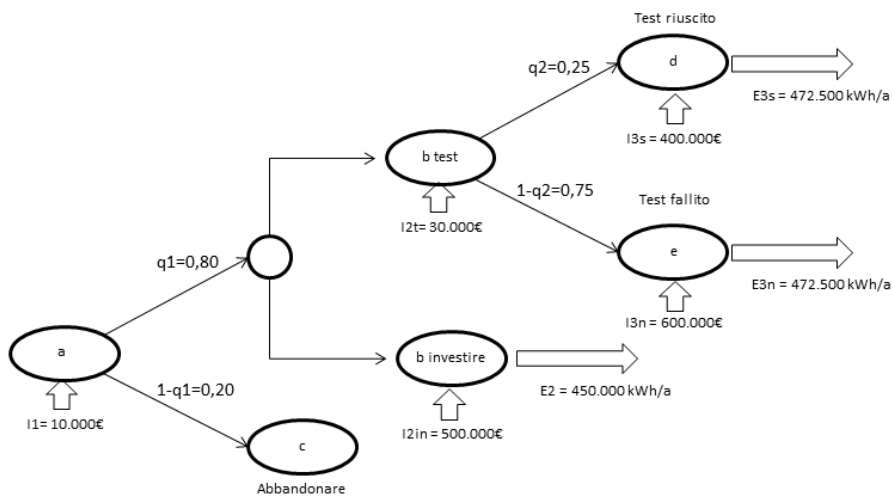


Figura 3.18: Andamento dell'investimento

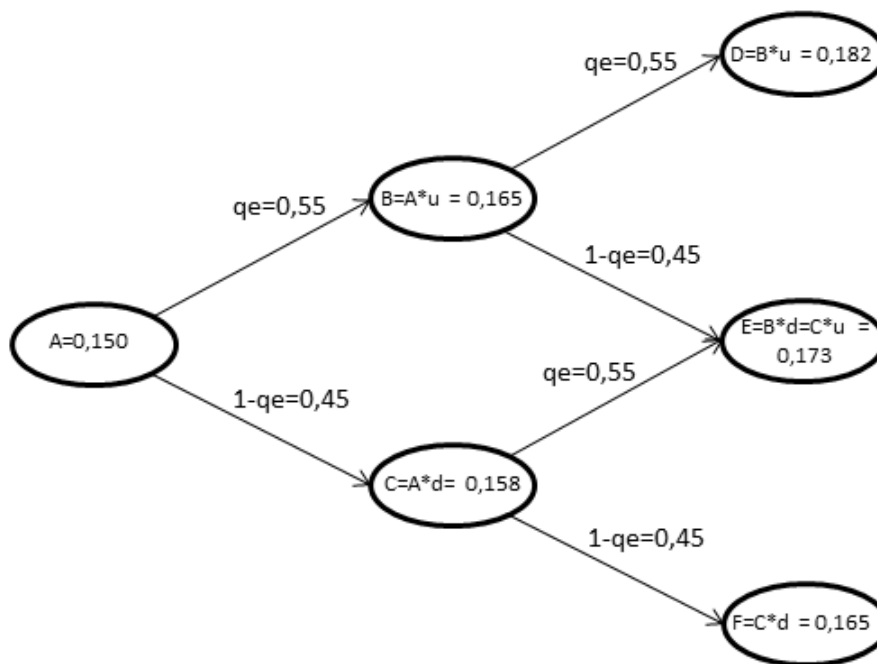


Figura 3.19: Andamento valore elettricità

quadrinomiale che combina le due incertezze⁹.

Il valore dell'investimento nella seconda fase è calcolato, per semplicità, moltiplicando il valore dell'energia per il quantitativo prodotto annualmente e per il totale di vita dell'investimento (7anni), tralasciando durante la vita dell'investimento l'attualizzazione e la variazione nel tempo del valore dell'energia (figura 3.22).

$$R_{j,k} = c_{ej} \cdot n \cdot E_k \quad \text{con } j = A, \dots, F$$

$$e \text{ con } k = b, d, e \quad (3.55)$$

$$VAN_{j,k} = R_{j,k} - I_{j,k} \quad (3.56)$$

da cui si ricavano le p tramite il calcolo del valore atteso considerando q e t_s (principio Mad):

$$VAN_{o_{j,k}} = \frac{q_e \cdot VAN_{j+1,k} + (1 - q_e) \cdot VAN_{j+2,k}}{(1 + t_s)} \quad \text{con } j + 1, 2 \text{ inodi a valle di } j \quad (3.57)$$

$$p_{j+1,j+2,k} = \frac{(1 + t_r) \cdot VAN_{o_{j,k}} - VAN_{j+2,k}}{VAN_{j+1,k} - VAN_{j+2,k}} \quad (3.58)$$

p (probability free risk) è data dal solo andamento dell'energia e deve essere moltiplicata dove necessario per il valore oggettivo della probabilità del mercato. Trovate le corrette probabilità (tabella 3.3) si calcola il VAN. Il VAN non prevede l'analisi contemporanea di entrambe le possibilità. Prese singolarmente le due opzioni possibili (investire subito o eseguire il test) danno:

- caso investire subito

$$VAN_1 = \frac{q_1 \cdot p_{BC} \cdot VAN_{b,B} + q_1 \cdot (1 - p_{BC}) \cdot VAN_{b,C} + (1 - q_1) \cdot VAN_{c,BC}}{1 + t_r} - I_1$$

$$= \frac{0,43 \cdot 19.750 + 0,37 \cdot (-3.875) + 0,2 \cdot 0}{1 + 0,03} - 10.000 \quad (3.59)$$

$$= -3.182 \text{€}$$

- caso eseguire test

$$VAN_{b,B} = \frac{q_2 \cdot p_{d,DE} \cdot VAN_{d,D} + q_2 \cdot (1 - p_{d,DE}) \cdot VAN_{d,E} + (1 - q_2) \cdot p_{e,DE} \cdot VAN_{e,D} + (1 - q_2) \cdot (1 - p_{e,DE}) \cdot VAN_{e,E}}{1 + t_r} - I_2$$

$$= \frac{0,07 \cdot 200.311 + 0,18 \cdot 173.024 + 0,42 \cdot 311 + 0,33 \cdot (-26.976)}{1 + 0,03} - 30.000 \quad (3.60)$$

$$= 5.544 \text{€}$$

⁹Le probabilità sono scollegate e quindi basta moltiplicarle fra loro.

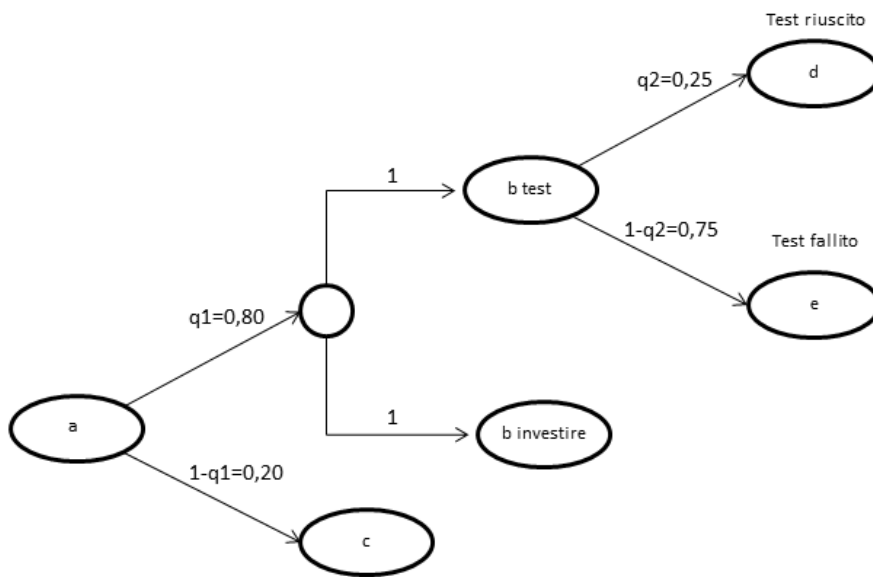


Figura 3.20: Andamento incertezza di mercato

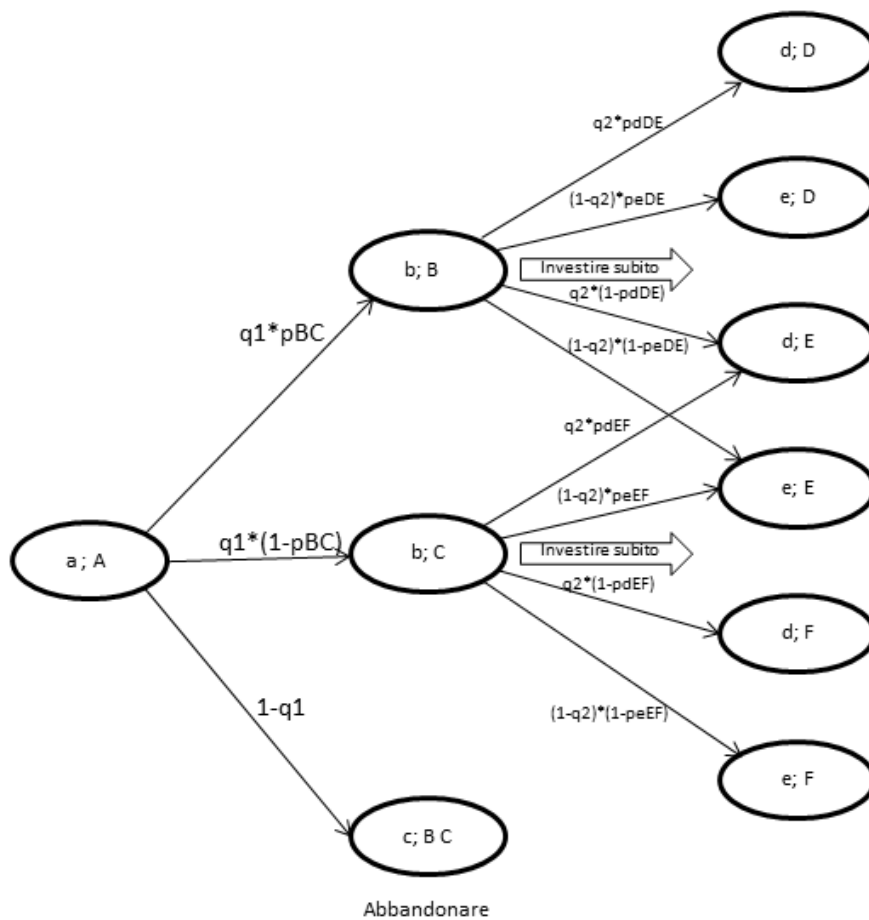


Figura 3.21: Andamento quadrinomiale

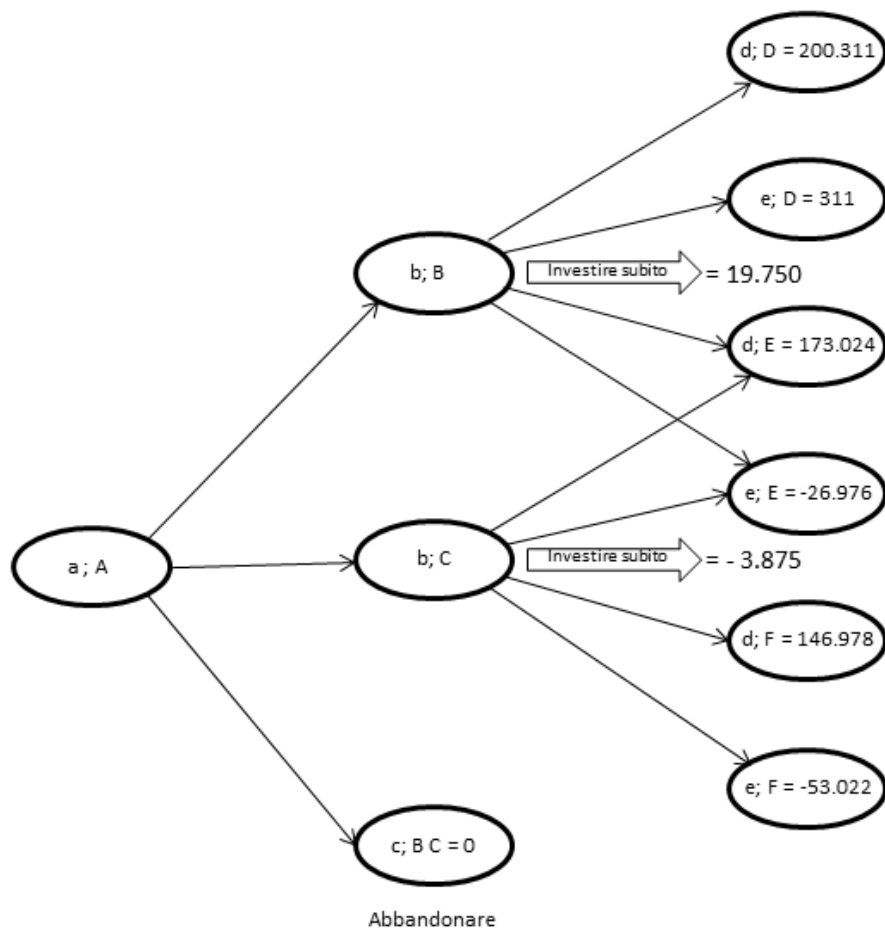


Figura 3.22: Andamento dei ricavi

Caso investire subito			
p_{BC}	0,54	$1 - p_{BC}$	0,46
$q_1 \cdot p_{BC}$	0,43	$q_1 \cdot (1 - p_{BC})$	0,37
Caso eseguire il test			
p_{dDE}	0,29	$(1 - p_{dDE})$	0,71
p_{eDE}	0,57	$(1 - p_{eDE})$	0,43
p_{dEF}	0,32	$(1 - p_{dEF})$	0,68
p_{eEF}	0,61	$(1 - p_{eEF})$	0,39
p_{BC}	0,71	$(1 - p_{BC})$	0,29
$q_2 \cdot p_{dDE}$	0,07	$q_2 \cdot (1 - p_{dDE})$	0,18
$(1 - q_2) \cdot p_{eDE}$	0,42	$(1 - q_2) \cdot (1 - p_{eDE})$	0,33
$q_2 \cdot p_{dEF}$	0,08	$q_2 \cdot (1 - p_{dEF})$	0,17
$(1 - q_2) \cdot p_{eEF}$	0,45	$(1 - q_2) \cdot (1 - p_{eEF})$	0,30
$q_1 \cdot p_{BC}$	0,56	$q_1 \cdot (1 - p_{BC})$	0,24

Tabella 3.3: Probabilità

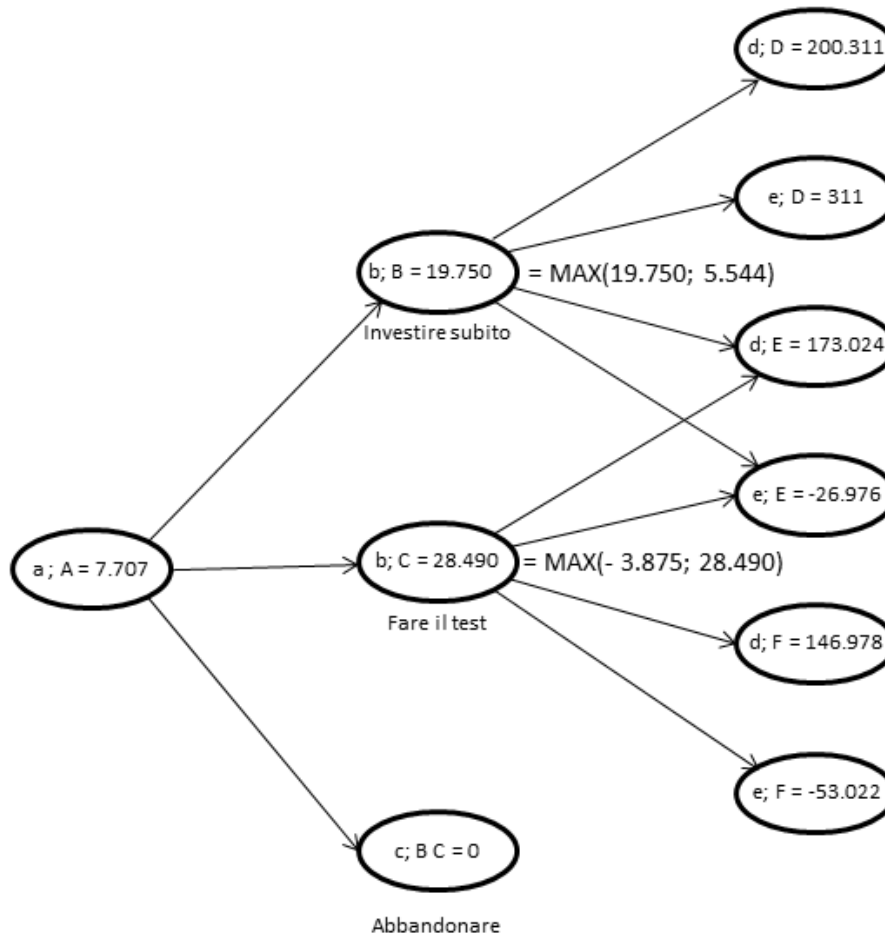


Figura 3.23: Albero OR

$$\begin{aligned}
 VAN_{b,C} &= \frac{q_2 \cdot p_{d,EF} \cdot VAN_{d,E} + q_2 \cdot (1 - p_{d,EF}) \cdot VAN_{e,E} + (1 - q_2) \cdot p_{e,EF} \cdot VAN_{d,F} + (1 - q_2) \cdot (1 - p_{e,EF}) \cdot VAN_{e,F}}{1 + i_r} - I_2 \\
 &= \frac{0,08 \cdot 173,024 + 0,17 \cdot (-26,976) + 0,45 \cdot 146,978 + 0,30 \cdot (-53,022)}{1 + 0,03} - 30.000 \\
 &= 28.490\text{€}
 \end{aligned} \tag{3.61}$$

$$\begin{aligned}
 VAN_2 &= \frac{q_1 \cdot p_{BC} \cdot VAN_{b,B} + q_1 \cdot (1 - p_{BC}) \cdot VAN_{b,C} + (1 - q_1) \cdot VAN_{c,BC}}{1 + i_r} - I_1 \\
 &= \frac{0,50 \cdot 5,544 + 0,30 \cdot 28,490 + 0,2 \cdot 0}{1 + 0,03} - 10.000 \\
 &= 994\text{€}
 \end{aligned} \tag{3.62}$$

L'analisi OR necessita di un passaggio ulteriore, in quanto si deve realizzare un albero che individui i valori di entrambe le opzioni ai nodi b, gli confronti considerando il maggiore fra i due (figura 3.23).

Partendo dall'ultimo anno e procedendo a ritroso si ottiene il valore attuale dell'investimento tramite metodologia OR.

$$VAN_{b,B} = MAX(VAN_{b,B}^1; VAN_{b,B}^2) = MAX(19.750; 5.544) = 19.750\text{€} \tag{3.63}$$

$$VAN_{b,C} = MAX(VAN_{b,C}^1; VAN_{b,C}^2) = MAX(-3.875; 28.490) = 28.490\text{€} \tag{3.64}$$

$$\begin{aligned}
 VAN_{O_{a,A}} &= \frac{q_e \cdot VAN_{b,B} + (1 - q_e) \cdot VAN_{b,C}}{(1 + i_s)} \\
 &= \frac{0,55 \cdot 19,750 + 0,45 \cdot 28,490}{(1 + 0,05)} \\
 &= 22.555\text{€}
 \end{aligned} \tag{3.65}$$

$$\begin{aligned}
 p_{BC} &= \frac{(1+t_r) \cdot VAN_{a,A} - VAN_{b,C}}{VAN_{b,B} - VAN_{b,C}} \\
 &= \frac{1,05 \cdot 22.555 - 28.490}{19.750 - 28.490} \\
 &= 0,65
 \end{aligned} \tag{3.66}$$

$$q_1 \cdot p_{BC} = 0,80 \cdot 0,65 = 0,52 \tag{3.67}$$

$$\begin{aligned}
 OR &= \frac{q_1 \cdot p_{BC} \cdot VAN_{b,B} + q_1 \cdot (1-p_{BC}) \cdot VAN_{b,C} + (1-q_1) \cdot VAN_{c,BC}}{1+t_r} - I_1 \\
 &= \frac{0,52 \cdot 19.750 + 0,28 \cdot 28.490 + 0,2 \cdot 0}{1+0,03} - 10.000 \\
 &= 7.707\text{€}
 \end{aligned} \tag{3.68}$$

L'analisi tramite OR mostra come utilizzando il VAN si sottostimi sempre il ritorno dell'investimento (tabella 3.4).

VAN_1	-3182€
VAN_2	994€
OR	7.707€

Tabella 3.4: Riepilogo valori.

Parte II

FOGLIO DI CALCOLO

Capitolo 4

FOGLIO BASE

Su richiesta di una ditta del settore fotovoltaico (Conergy Italia s.p.a sede di Vicenza) si è sviluppato un foglio di calcolo in Excel per l'analisi di investimenti in impianti fotovoltaici per la produzione di energia elettrica. Il foglio, calcolando annualmente i vari flussi di cassa presenti, fornisce una valutazione immediata dei maggiori indici economici utilizzati per le analisi economiche di investimento quali VAN IRR PB LCOE e realizza il confronto fra la spesa in energia elettrica del proprietario dell'utente nel caso di installazione dell'impianto fotovoltaico o meno. Tale foglio è la base di partenza per l'analisi tramite OR. Espandendo il programma con appositi fogli elettronici per il calcolo di ogni OR possibile si confronta l'analisi priva di incertezze (VAN) con l'analisi OR, evidenziandone i vantaggi e le possibilità.

Nella valutazione reale di un investimento in un impianto fotovoltaico si deve eseguire una dettagliata analisi della situazione del mercato del fotovoltaico per individuare i giusti costi delle varie componenti e, ancor più, si deve analizzare il valore dell'energia, il suo futuro comportamento e le nuove politiche economiche di sostegno al fotovoltaico¹.

4.1 DATI IN INGRESSO

Il foglio elettronico per il calcolo del VAN (Programma A) si divide al proprio interno in più fogli, rendendone più versatile sia l'utilizzo che la comprensione. I dati richiesti come input sono stati concordati con la ditta committente e si possono suddividere in:

- dati relativi all'impianto;
- dati relativi al carico;
- dati relativi all'andamento dell'elettricità.

Per ogni "categoria" è presente uno specifico foglio in cui introdurre i dati.

4.1.1 Dati relativi all'impianto

I dati richiesti in relazione alle specifiche del sistema sono (figura 4.1):

- anno di installazione (a);
- potenza impegnata dall'utenza in kWp (P_u);
- potenza impianto FV in kWp (P_{FV});
- irraggiamento in kWh/m² (Irr);

¹Ciò esula dallo scopo di tale tesina che come già sottolineato è comprendere il funzionamento e le possibilità che le OR forniscono, non ottenere dei risultati sull'andamento di un reale impianto fotovoltaico. Gli specifici dati forniti come input del programma, da cui sono ricavati i risultati, rappresentano quindi delle supposizioni personali dell'autore scaturite dalle proprie conoscenze in accordo con la situazione vigente a fine 2012. La potenza dell'utilizzo di un foglio elettronico è la sua adattabilità e la motivazione con cui è stato sviluppato il foglio è stata quella di creare uno strumento il più versatile possibile, concentrandosi sulla sua meccanica di funzionamento. Nell'osservare i risultati, si deve quindi sempre pensare agli specifici dati in ingresso che devono essere considerati come puramente indicativi e di carattere generale.

CLIENTE NON DOMESTICO

Specifiche del sistema

Modello dati consumo/produzione	Semplice	
Modello dati autoconsumo	A Imputato	
Anno installazione	2012	
Potenza impegnata utenza	4500	kW
Potenza impianto FV	4500	kWp
Irraggiamento	1350	kWa/kWp
Performance Ratio	90	%
Produzione specifica	1.215	kWh/kWp
Produzione totale	5.467.500	Kwh/a
Degradazione impianto FV anno 1	-0,5	%
Degradazione impianto FV anni succ	-0,5	%
Costo specifico impianto 'chiavi in mano'	1.400	€/kWp
Costi specifici O&M e assicurazione	30	€/kWp/a
Costi annuali O&M (in %)	2,14	%
Totale costi annuali O&M + assicurazione	135.000	€/a
Incremento annuale costo O/M	2,50	%
Autoconsumo totale**	44,96	%

Dati finanziari

Percentuale di capitale proprio	30	%
Interessi sul capitale proprio	10	%
Interesse sul capitale a debito	5	%
Durata finanziamento	1	anni

Tasso di attualizzazione	6,5	%
Capitale proprio	1.890.000	€
Capitale a debito	4.410.000	€
Capitale totale	6.300.000	€

Figura 4.1: Foglio dati impianto

- performance ratio in % di m^2/kWp (r_{FV});
- degradazione impianto FV durante il primo anno in % (d_1);
- degradazione impianto FV durante i successivi anni in % (d);
- costo specifico impianto “chiavi in mano” €/kWp (c_{FV});
- costo specifico O&M + assicurazione €/a/kWp ($c_{O&M}$);
- variazione annuale costo O/M in % ($r_{O&M}$).

I dati finanziari sono:

- capitale proprio in % (b_p);
- interesse sul capitale proprio in % (t_p);
- interesse sul capitale a debito in % (t_f);
- durata del finanziamento in anni (a_f).

Il costo privo di interessi bancari (I_{tot}), la divisione fra capitale proprio (I_p) e capitale a debito (I_f) sono subito determinati:

$$I_{tot} = c_{FV} \cdot P_{FV} \text{ [€]} \quad (4.1)$$

$$I_p = I_{tot} \cdot b_p \text{ [€]} \quad (4.2)$$

$$I_f = I_{tot} - I_p \text{ [€]} \quad (4.3)$$

Foglio inserimento dati									
Modello dati consumo/produzione		Semplice							
Modello dati consumo/produzione		Semplice							
Modello dati autoconsumo		A.Imputato							
in kWh/a		Risultati metodo Semplice							
produzione FV	Consumo	Autoconsumo imputato*	Autoconsumo calcolato**	in kWh/a	Produzione	Autoconsumata	Venduta	Comprata	
Fascia F1	70,50%	3854588	44,96%	100,00%	F1	3854588	1733023	2121565	2121565
Fascia F2	14,00%	765450	44,96%	100,00%	F2	765450	344146	421304	421304
Fascia F3	15,50%	847463	44,96%	100,00%	F3	847463	381019	466443	466443
totale	100,00%	5467500	44,96%		totale	5467500	2458188	3009312	3009312

*valori da imputare **valori calcolati assumendo il dato inferiore tra produzione e consumo

Figura 4.2: Foglio dati carico modalità semplice

Sono calcolati i costi annui di O&M comprensivi di costi assicurativi e sostituzione inverter ($C_{O\&M}$) e la loro percentuale rispetto al costo specifico dell'impianto ($c_{\%O\&M}$):

$$C_{O\&M} = c_{O\&M} \cdot P_{FV} \text{ [€/a]} \quad (4.4)$$

$$c_{\%O\&M} = \frac{c_{FV}}{c_{O\&M}} \cdot 100 \quad (4.5)$$

Dai tassi di interesse è determinato il tasso di attualizzazione dell'investimento (t_s) tramite metodologia WACC² (formula 3.12):

$$t_s = (1 - b_p) \cdot t_f + b_p \cdot t_p \text{ [%]} \quad (4.6)$$

In un'ottica di estrema versatilità esistono due metodologie per la determinazione del quantitativo di energia prodotta dall'impianto: "semplice" e "elaborata". Tramite l'utilizzo di un menù a tendina si può selezionare la modalità da usare nel caso specifico.

La metodologia semplice si basa sui dati raccolti e fornisce direttamente il quantitativo di energia annua prodotta dal singolo pannello da un kWp (e_{FV}) e la quantità annua di energia prodotta dall'impianto fotovoltaico (E_{FV}).

$$e_{FV} = Irr \cdot r_{FV} \text{ [kWh/m}^2\text{]} \quad (4.7)$$

$$E_{FV} = e_{FV} \cdot P_{FV} \text{ [kWh/a]} \quad (4.8)$$

Per il valore di autoconsumo e per la metodologia "elaborata" si rimanda al capitolo seguente.

4.1.2 Dati relativi al carico

Come la produzione anche le caratteristiche di consumo dell'investitore-installatore dell'impianto possono essere calcolate tramite le due metodologie: "semplice" (figura 4.2) e "elaborata" (figura 4.3).

La metodologia semplice prevede l'inserimento dei consumi elettrici annui divisi per fascia oraria in kWh:

- consumo annuo in fascia F1 (E_{cF1});
- consumo annuo in fascia F2 (E_{cF2});
- consumo annuo in fascia F3 (E_{cF3}).

Anche la produzione di energia da fotovoltaico deve essere divisa per fasce orarie e si devono quindi fornire le relative percentuali rispetto al totale per ricavare:

- produzione annua in fascia F1 (E_{pF1});
- produzione annua in fascia F2 (E_{pF2});
- produzione annua in fascia F3 (E_{pF3}).

²L'aliquota fiscale del reddito di impresa è considerata compresa nel valore di interesse del capitale proprio.

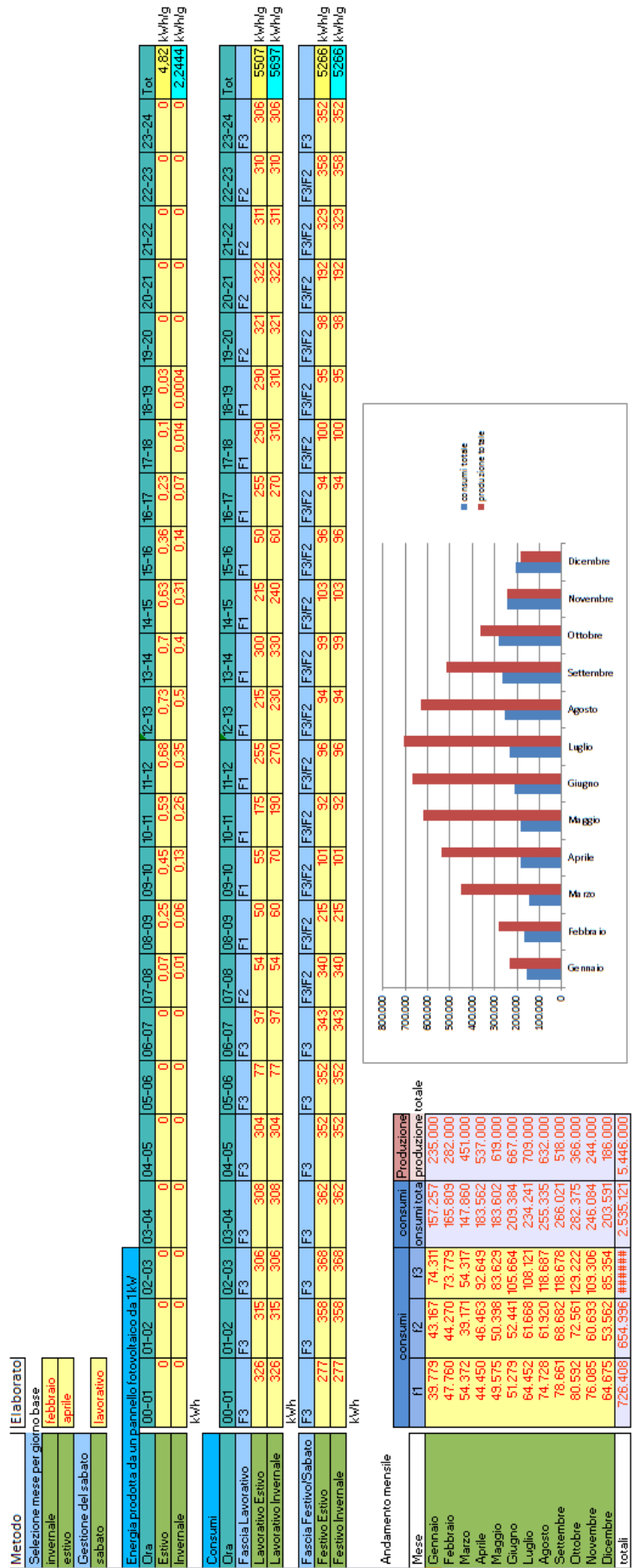


Figura 4.3: Foglio dati carico modalità elaborata

Per il calcolo dell'autoconsumo annuo (E_a) esistono due ulteriori "sotto-metodologie semplici": autoconsumo imputato e calcolato.

L'autoconsumo imputato prevede che sia l'utente a introdurre il valore percentuale di autoconsumo specifico per ogni fascia rispetto all'energia consumata, mentre l'autoconsumo calcolato lo determina matematicamente:

$$E_{aFj} = E_{cFj} \cdot \frac{E_{cFj}}{E_{pFj}} [kWh/a] \text{ con } j = 1, 2, 3 \quad (4.9)$$

e nel caso $E_{cFj} > E_{pFj}$ si impone un autoconsumo del 100%.

Da tali valori si determinano come logica differenza le quantità di energia venduta (E_{vFj}) e acquistata (E_{qFj}) dalla rete per ogni fascia oraria.

La metodologie elaborata nasce dall'esigenza di valutare in maniera più specifica caso per caso, determinando un valore di autoconsumo e conseguentemente di acquisto e vendita più realistico.

Ogni contratto di fornitura di energia elettrica tramite la rete prevedere il rilascio delle specifiche curve di consumo giornaliero (se richieste) e ogni azienda interessata può facilmente accedere allo storico dei propri consumi elettrici mensili. Tramite i numerosi programmi di simulazione o, all'occorrenza, tramite l'installazione di un pannello pilota, si è in grado di supporre con elevata veridicità la produzione giornaliera di un singolo pannello del nostro impianto e del quantitativo totale mensile.

Rispondendo alle esigenze della ditta committente il programma A necessita dei seguenti dati di partenza per la metodologia elaborata:

- due giorni tipo di produzione da singolo pannello fotovoltaico (curva giornaliera di produzione) e relativo mese a cui sono riferiti: uno invernale e uno estivo (figura 2.6);
- quattro giorni tipo di consumi elettrici (curva giornaliera di consumo) e relativo mese a cui si riferiscono: due invernali e due estivi rispettivamente uno lavorativo e uno festivo;
- andamento mensile della produzione d'energia (quantitativi mensili di produzione);
- andamento mensile dei consumi d'energia (quantitativi mensili di consumi).

Partendo da tali dati si ricostruisce la produzione e il consumo di ogni singolo giorno pesando il mese e la tipologia (festivo, lavorativo e prefestivo³) ricavando da confronto su base oraria i quantitativi di energia prodotta, consumata, auto-consumata, acquistata e venduta specifici per ogni singola ora e caratterizzati dalla corretta fascia oraria di appartenenza. Dai quantitativi orari si determinano a cascata i valori giornalieri, mensili e infine annuali sempre evidenziando la suddivisione per fasce orarie. La divisione per fasce orarie è diversa a seconda che sia un giorno feriale, prefestivo o festivo e tale foglio di calcolo ne tiene conto (figura 4.4).

Il foglio prevede per l'utente più esigente comodi grafici per la visualizzazione dei risultati (figura 4.5).

4.1.3 Dati relativi al valore dell'elettricità

Per i dati relativi al valore dell'elettricità il foglio (figura 4.6) fornisce la possibilità tramite semplice funzione a tendina di scegliere se basare i calcoli sul valore di acquisto dell'energia secondo l'AEEG oppure utilizzare valori introdotti dall'utente.

Ciò permette tramite lo stesso foglio di valutare sia le situazioni in cui l'installatore ha un contratto di fornitura stipulato nel libero mercato, sia nel caso sia un utente del Servizio di maggior tutela. Nel secondo caso (utente in maggior tutela) automaticamente in base al quantitativo di energia consumata e alla caratteristica dell'utenza (P_u , utente domestico o non) si ricavano i corretti valori in riferimento a tutte le voci di costo da bolletta⁴:

- oneri generali;
- servizi di rete;
- quota fissa (Q_f);
- quota potenza (q_p);

³Esiste la possibilità per ogni mese di inserire il numero di giorni lavorativi e imporre in automatico se considerare i giorni prefestivi come giorni di consumo lavorativi o festivo.

⁴I dati sono presi direttamente dal foglio in Excel fornito dalla stessa AEEG: http://www.autorita.energia.it/it/consumatori/consumatori_ele.htm.

Distribuzione fasce orario

Lunedì	Martedì	Mercoledì	Giovedì	Venerdì	Sabato	Domenica
1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24

F1
 F2
 F3

Figura 4.4: Divisione settimanale per fasce orarie

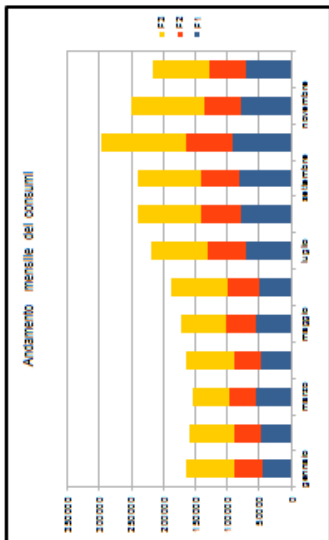
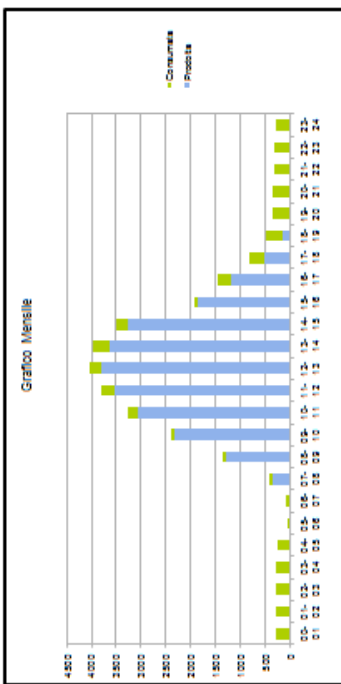
Foglio risultati con modello Elaborato

Ossimilazione di dati per la serie di dati: **Consumi** **Produzione** **Acquisita** **Venduta** **Autocconsumata**

VALORI ANNUI

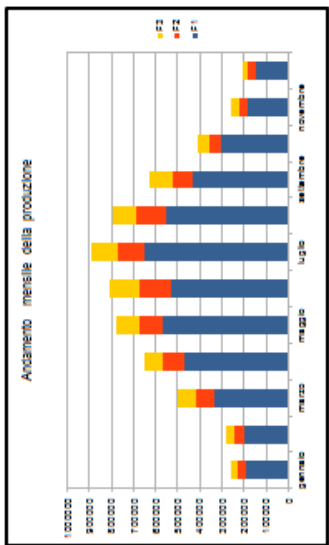
Consumo		Autocconsumato	
F1	F2	F3	tot
76952	83376	107295	263763
31,28%	25,32%	46,92%	

Totale
% su totale



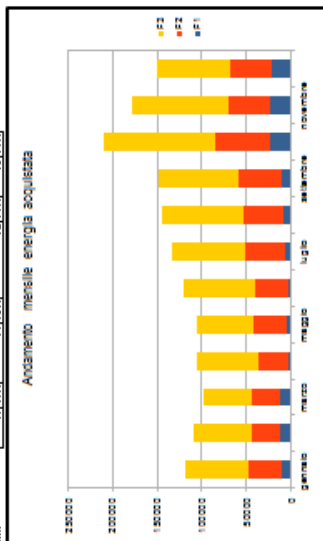
Produzione		Autocconsumato	
F1	F2	F3	tot
4563714	978163	920344	6463221
70,42%	15,17%	14,39%	

Totale
% su totale



Acquisita		Autocconsumato	
F1	F2	F3	tot
134850	502984	980796	1613530
8,32%	31,02%	60,60%	

Totale
% su acquistata
% su consumo



Venduta		Autocconsumato	
F1	F2	F3	tot
2983732	842540	843849	5655471
56,09%	16,34%	17,59%	

Totale
% su produzione

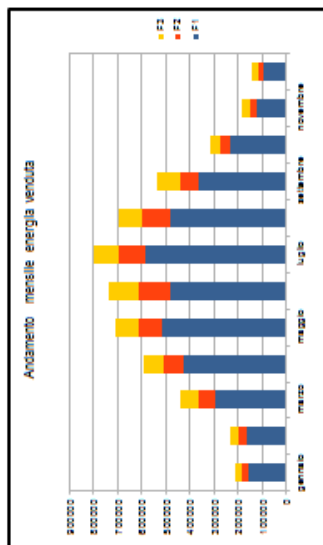
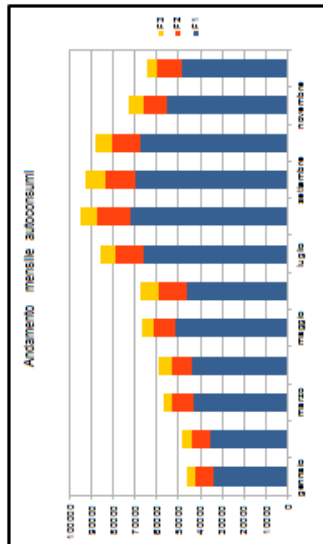


Figura 4.5: Grafici visualizzazione dei risultati

Foglio Tariffa Elettrica

Modello*	Semplice	
Gestione tassazione	Lordo delle imposte	
Tassazione		14,00

%

Impostazioni prezzi	dati Autorità	
Tariffa acquisto man. F1	ict/kWh	15,20
F2	ict/kWh	15,60
F3	ict/kWh	14,90
Tariffa vendita man. F1	ict/kWh	79,00
F2	ict/kWh	79,00
F3	ict/kWh	79,00

Impostazioni tassi	Standard	
modalità	Standard	
Inflazione		2,50
Tasso aumento bolletta elettrica		3,00
modalità	Manuale	
Inflazione		1,00
F1		2,00
F2		2,00
F3		2,00
Oneri generali		2,00
Servizi di rete		2,00
Quota fissa		2,00
Quota Potenza		2,00

%

Figura 4.6: Foglio dati elettricità

- servizi di vendita per ogni fascia oraria;

ricostruendo il costo di acquisto e il valore di autoconsumo nel caso sia previsto il pagamento di qualche componente tariffaria durante l'autoconsumo.

C'è poi la possibilità di fissare la tassazione in base alla tipologia di utilizzo dell'energia acquistata come da norma e tramite menù a tendina è previsto il calcolo al netto o al lordo delle imposte.

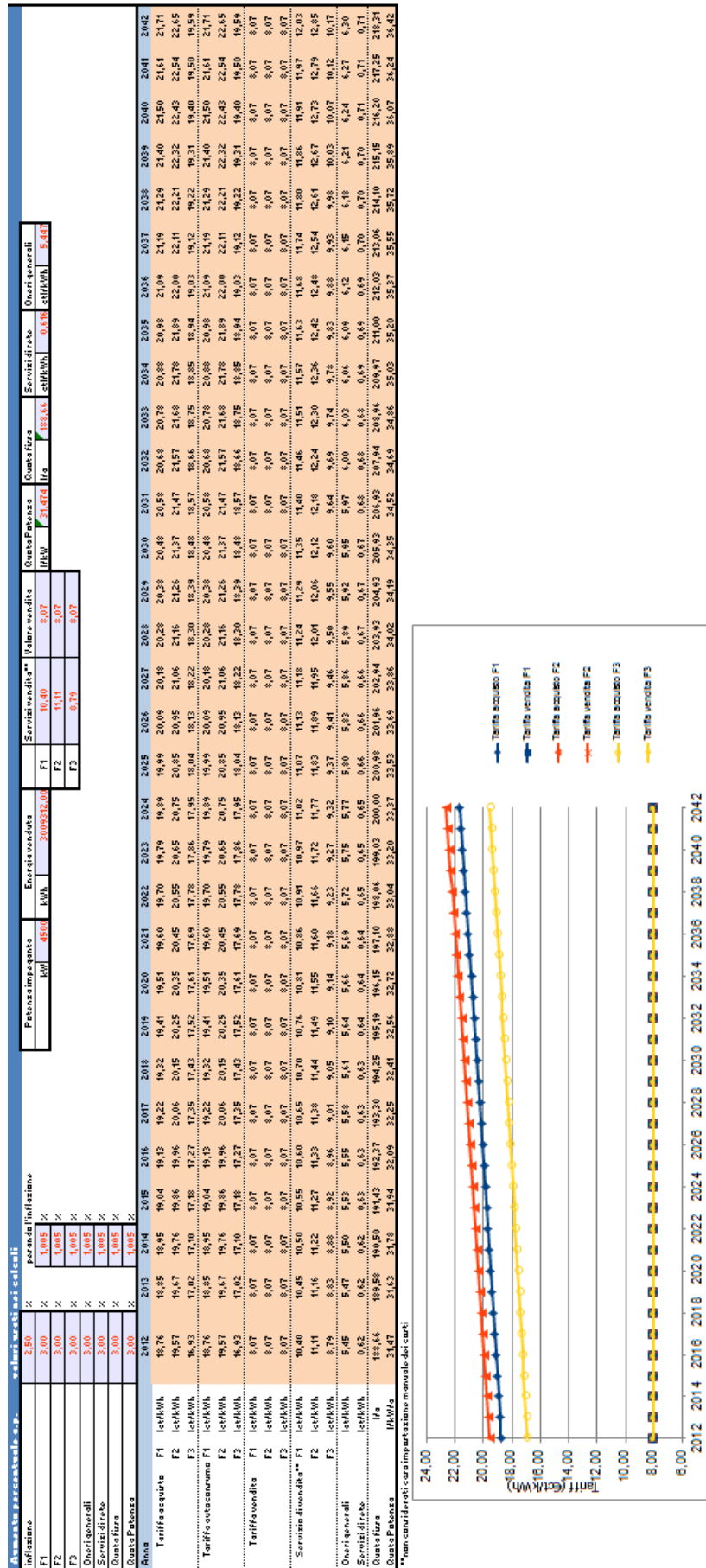
La previsione dell'andamento futuro del valore dell'elettricità è dato da una variazione percentuale annua di tutte le componenti di cui sopra, comprensiva del valore di inflazione previsto (i_{inf}). Il valore di variazione può essere sia imposto diverso per ogni voce sia imposto costante per tutte le voci (tasso aumento bolletta elettrica r_{ae}).

$$\text{valore elettricità anno } j = v_{ej} = v_{e0} \cdot \frac{(1 + r_{ea})^j}{(1 + i_{inf})^j} [\text{c€}/\text{kWh}] \quad (4.10)$$

Ciò permette, dopo un'attenta analisi dello storico e delle prospettive future, di poter ipotizzare una variazione diversa (per esempio) delle tre fasce orarie o ancora considerare come costanti alcune voci di costo a differenza di altre per cui si prevede una diversa variazione (figura 4.7).

Come per il valore d'acquisto, il valore dell'energia venduta alla rete è determinato tramite due metodologie alternative. Tramite l'indicazione diretta da parte dell'utente o basandosi in automatico sui prezzi minimi garantiti riconosciuti per impianti alimentati da fonti rinnovabili di potenza fino a 1 MW nella tariffazione da Ritiro Dedicato⁵. Tali valori infatti rappresentano il minor valore da normativa possibile a cui un impianto fotovoltaico può vedere valorizzata la propria energia elettrica prodotta. Gli altri regimi di sostegno alle rinnovabili prevedono valori maggiori e lo stesso valore di mercato dell'energia molte volte supera tale incentivo, ma è lasciato allo specifico utente del foglio la possibilità di impostare un valore maggiore tramite appunto la prevista metodologia manuale. Per facilitare l'aggiornamento del foglio di calcolo sono presenti due fogli specifici per i valori da AEEG di cui sopra. Si ricorda inoltre che i valori sono quasi sempre determinati tramite media pesata considerando il sistema di

⁵Prezzi minimi garantiti per l'anno 2013, ai sensi della deliberazione dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas 6 novembre 2007, n.280/07.



scaglioni a salire come da normativa, il foglio esegue il calcolo in automatico fornendo anche i valori medi pesati secondo il consumo per fascia oraria.

4.2 DATI IN USCITA

Descritti i dati inseriti e i relativi calcoli sono illustrati i dati forniti in uscita e le relative metodologie di calcolo utilizzate dal programma.

4.2.1 Foglio “Indici economici”

Individuati tutti i valori base si costruisce una tabella per il calcolo dei maggiori indici economici:

- LCOE: costo di produzione medio attualizzato del singolo kWh prodotto dall’impianto non considerando i risparmi dovuti all’autoconsumo o i ricavi dovuti alla vendita, si avrà guadagno nel momento in cui tale valore risulta inferiore al valore del kWh autoconsumato (se verrà autoconsumato) e/o venduto (se verrà venduto);
- LCOE’: costo di produzione medio attualizzato del singolo kWh prodotto dall’impianto considerando i risparmi dovuti all’autoconsumo e/o i ricavi dovuti alla vendita, si avrà guadagno nel momento in cui tale valore risulta inferiore allo zero;
- VAN: valore attuale netto anche indicato come NPV;
- IRR: tasso di rendimento interno e cioè il tasso di interesse ricevuto dall’investimento sulla base delle uscite (valori negativi) ed entrate (valori positivi) che avvengono ad intervalli regolari.

Riportati in colonna i valori in c€/kWh e in kWh dell’energia autoconsumata (v_a) e venduta (v_e), si determinano tramite semplice moltiplicazione i relativi ricavi del primo anno per ogni y fascia oraria e il totale annuo.

$$R_{ay} = E_{ay} \cdot v_{ay} \text{ [€]} \quad (4.11)$$

$$R_{vy} = E_{vy} \cdot v_{vy} \text{ [€]} \quad (4.12)$$

$$R_a = R_{aF1} + R_{aF2} + R_{aF3} \text{ [€]} \quad (4.13)$$

$$R_v = R_{vF1} + R_{vF2} + R_{vF3} \text{ [€]} \quad (4.14)$$

Lo stesso procedimento è svolto per ogni j anno pesando però il degrado dell’impianto (d) per un totale di vita dell’impianto supposto di 30 anni (a_f). Il degrado si considera riducendo il quantitativo di energia prodotta e conseguentemente l’energia autoconsumata e venduta.

Individuati i ricavi si calcolano i costi di installazione, manutenzione e di finanziamento. Annualmente è considerato il costo di O&M+assicurazione ($C_{O\&M}$) che viene previsto avere un aumento legato sia al valore indicato dall’utente ($r_{O\&M}$) sia all’inflazione (i_{inf}) come già fatto per il valore dell’elettricità (formula 4.10).

Per i costi di investimento si contabilizza il capitale proprio (I_p) come costo assunto nel primo anno, mentre per il capitale a prestito (I_f) si calcola la rata annua pattuita (I_{fa}) e i relativi interessi (I_{int}) da pagare annualmente sull’ammontare del prestito ancora da estinguere.

$$I_{fj} = \frac{I_f}{a_f} \text{ [€]} \quad (4.15)$$

$$I_{intj} = (I_f - \sum_{x=1}^j I_{fx-1}) \cdot t_f \text{ [€]} \quad (4.16)$$

Tramite tali valori si determinano ogni j anno⁶ il VAN, l’IRR⁷ e le due versioni di LCOE:

⁶Per necessità di attualizzazione il primo anno è considerato anno 0.

⁷Si utilizza la funzione TIR.COST, cioè la funzione di Excel che restituisce il tasso di rendimento interno per una serie di flussi di cassa rappresentati da numeri in valore assoluto.

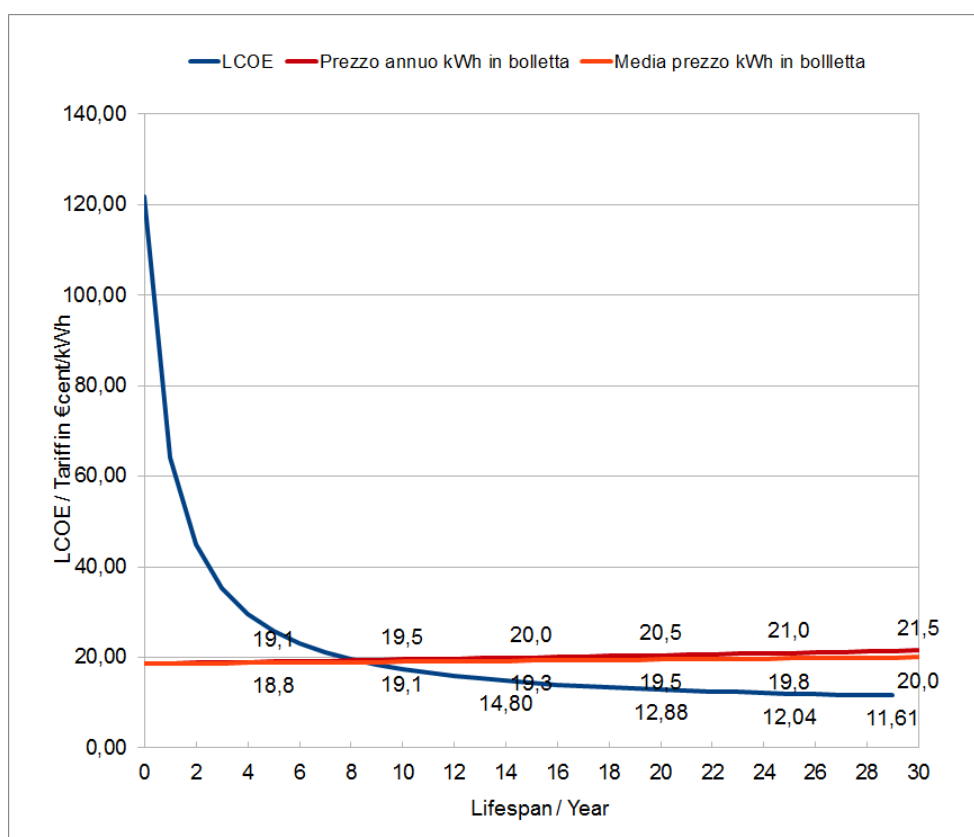


Figura 4.8: Grafico LCOE

$$VAN_j = \sum_{x=0}^j \frac{(R_{vj} + R_{aj} - I_{fj} - I_{intj} - CO\&M_j - I_{pj})}{(1 + t_s)^j} \text{ [€]} \quad (4.17)$$

$$IRR_j = TIR.COST \left[\text{valori}_{x=0}^j (R_{vx} + R_{ax} - I_{fx} - I_{intx} - CO\&M_x - I_{px}) \right] \text{ [%]} \quad (4.18)$$

$$\text{Costi}_{j\text{attualizzati}} = T_{1j} = \frac{(I_{fj} + I_{intj} + CO\&M_j + I_{pj})}{(1 + t_s)^j} \text{ [€]} \quad (4.19)$$

$$E_{pj\text{attualizzata}} = T_{2j} = \frac{E_{pj}}{(1 + t_s)^j} \text{ [€]} \quad (4.20)$$

$$LCOE_j = \sum_{x=0}^j \frac{T_{1j}}{T_{2j}} \text{ [c€/kWh]} \quad (4.21)$$

$$\text{Guadagni}_{j\text{attualizzati}} = T'_{1j} = \frac{(R_{vj} + R_{aj} - I_{fj} - I_{intj} - CO\&M_j - I_{pj})}{(1 + t_s)^j} \text{ [€]} \quad (4.22)$$

$$LCOE'_j = \sum_{x=0}^j \frac{T'_{1j}}{T_{2j}} \text{ [c€/kWh]} \quad (4.23)$$

I valori sono ricavati singolarmente per ogni j anno e ciò permette di costruire grafici per osservare il comportamento dell'impianto durante tutto l'arco di vita, oltre a facilitare l'individuazione del valore di determinati anni di interesse (es. 10-15-20-25-30 anni). In figura 4.8 è riportato il grafico inerente LCOE mentre in figura 4.9 è presentato il LCOE', infine in figura 4.10 è mostrato il foglio "Indici Economici".

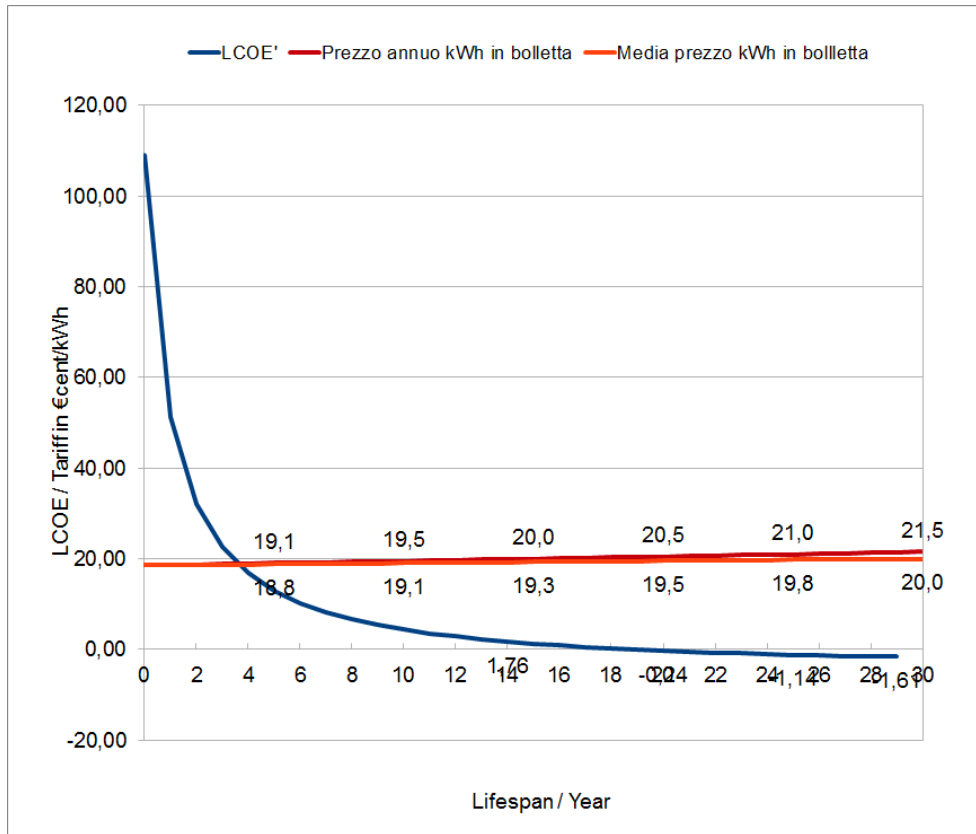


Figura 4.9: Grafico LCOE'

4.2.2 Foglio “Risparmi”

La ditta committente il programma A, volendolo utilizzare per convincere i propri clienti a realizzare un impianto fotovoltaico per autoprodursi l'energia elettrica, ha commissionato anche la creazione di un foglio per il confronto fra spese energetiche con e senza l'impianto fotovoltaico (figura 4.11).

Utilizzando gli stessi valori in ingresso si determina quindi l'ammontare annuo di spesa per l'energia elettrica consumata in assenza di impianto fotovoltaico (S_{noFV}) e l'ammontare annuo di spesa energetica in presenza dell'impianto fotovoltaico (S_{FV}), considerando come ricavo il solo quantitativo di energia venduta.

Per ogni j anno si ha:

$$S_{enoFVj} = E_{cj} \cdot v_{ej} [\text{€}] \quad (4.24)$$

$$Costi_{j, fissi in bolletta} = C_{efj} = Q_{fj} + q_p \cdot P_u [\text{€}] \quad (4.25)$$

$$S_{noFVj} = S_{enoFVj} + C_{efj} [\text{€}] \quad (4.26)$$

$$S_{eFVj} = E_{qj} \cdot v_{ej} [\text{€}] \quad (4.27)$$

$$I_j = I_{fj} + I_{intj} + I_{pj} [\text{€}] \quad (4.28)$$

$$S_{FVj} = S_{eFVj} + C_{efj} + CO\&M_j + I_j - R_{vj} [\text{€}] \quad (4.29)$$

Il risparmio annuo (R_{ba}) è dato dalla differenza aritmetica fra i due valori annuali, mentre il totale risparmio (R_b) al j -esimo anno è dato dalla somma dei precedenti risparmi annui:

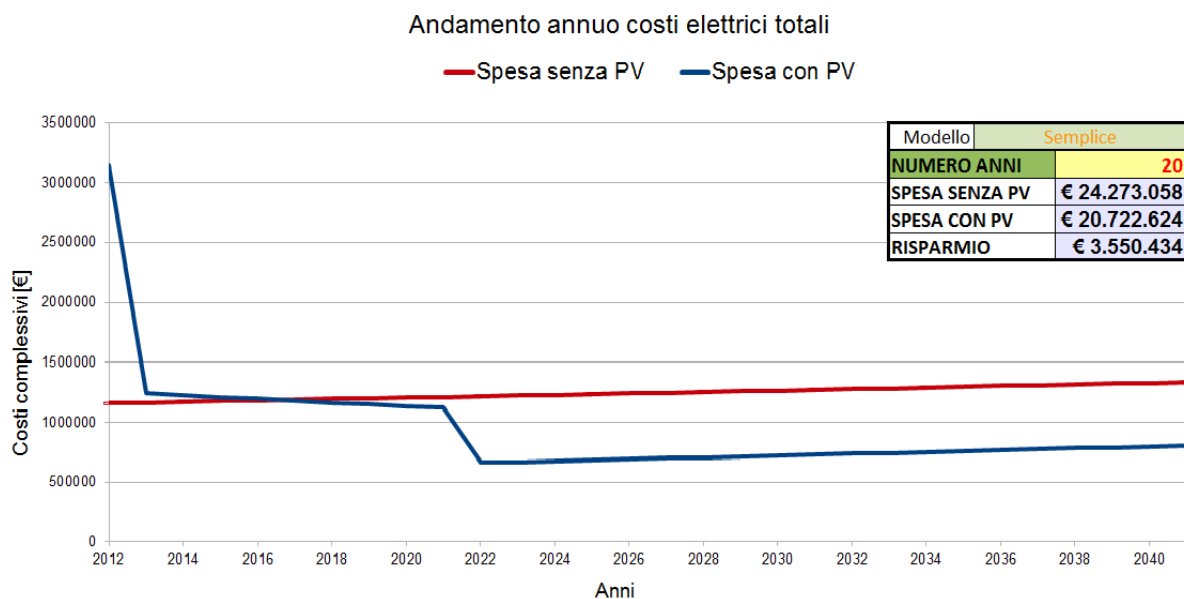


Figura 4.12: Grafico andamento spesa elettrica

$$R_{baj} = S_{noFVj} - S_{FVj} \text{ [€]} \quad (4.30)$$

$$R_{bj} = \sum_{x=0}^j R_{bax} \text{ [€]} \quad (4.31)$$

Viene poi riportato un grafico che mostra le spese annuali e tramite tabella si evidenzia il risultato in determinati anni chiave (figura 4.12).

Osservando il valore nel tempo di R_b in tabella (figura 4.11) si deduce anche il tempo di ritorno (Pay Back): l'anno in cui il valore diventa positivo è l'anno in cui si può considerare ripagato il nostro investimento iniziale.

4.3 CASI REALISTICI

Si espongono quattro casi per comprendere al meglio le possibilità di utilizzo del programma A ipotizzando che tutti gli impianti vengano installati nel nord est italiano⁸.

4.3.1 Impianto industriale di grandi dimensioni

Si ipotizzi un'azienda media grande con ingenti consumi di energia elettrica che si interessi alla realizzazione di un impianto fotovoltaico. Introducendo i dati generali è calcolato tramite programma A il quantitativo di energia autoconsumata necessario per rendere nullo il VAN a distanza di 10, 15 e 20 anni ipotizzando più scenari futuri per l'andamento del valore dell'energia e diversi costi del pannello fotovoltaico.

Valori fissi:

- anno di installazione (a) = 2013;
- potenza impegnata dall'utenza in kWp (P_u) = 4500 kWp;
- potenza impianto FV in kWp (P_{FV}) = 4500 kWp;
- irraggiamento in kWh/m² (Irr) = 1350 kWh/m²;

⁸La posizione geografica è riflessa nel quantitativo specifico di energia prodotta dall'impianto fotovoltaico imposto costante per tutti casi analizzati.

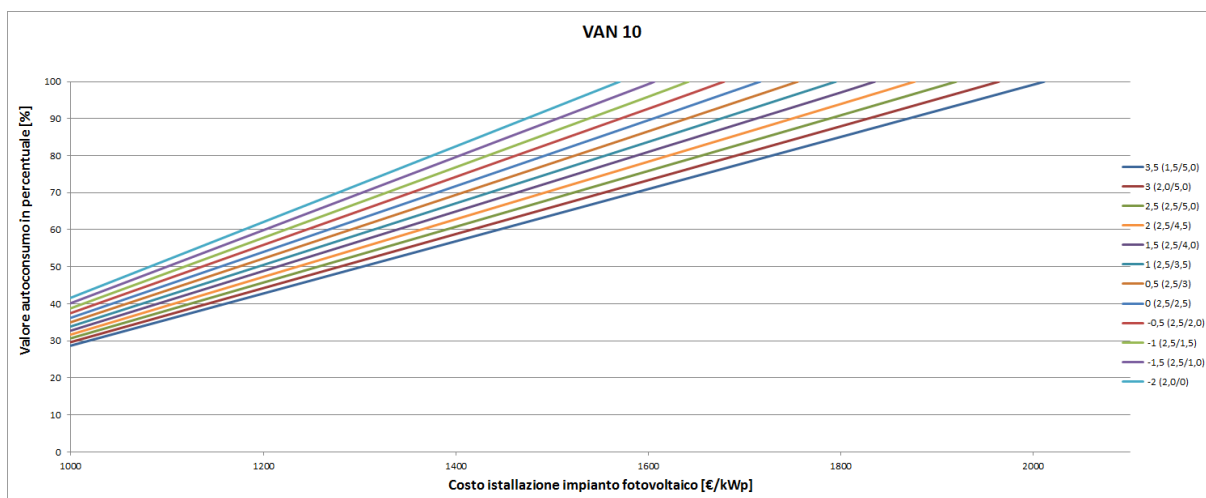


Figura 4.13: Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 10 anni ($P_{FV} = 4.5 MW$).

- performance ratio in % di m^2/kWp (r_{FV}) = 90%;
- degradazione impianto FV durante il primo anno in % (d_1) = -0,5%;
- degradazione impianto FV durante i successivi anni in % (d) = -0,5%;
- costo specifico O&M + assicurazione €/a/kWp ($c_{O\&M}$) = 30 €/kWp;
- variazione annuale costo O/M in % ($r_{O\&M}$) posto uguale all'inflazione.

I dati finanziari sono:

- capitale proprio in % (b_p) = 30 %;
- interesse sul capitale proprio in % (t_p) = 10 %;
- interesse sul capitale a debito in % (t_f) = 5 %;
- durata del finanziamento in anni (a_f) = 15 a.

Per il calcolo dei quantitativi di energia prodotta e consumata è utilizzata la modalità semplice imponendo i consumi equivalenti alla produzione e una divisione per fasce orarie della produzione totale imposta come:

- produzione annua in fascia F1 (e_{pF1}) = 70,5 %;
- produzione annua in fascia F2 (e_{pF2}) = 14 %;
- produzione annua in fascia F3 (e_{pF3}) = 15,5%.

Per il valore di autoconsumo è utilizzata la modalità “imposta” e per i costi dell’energia si utilizzano i dati dell’Autorità per l’energia elettrica e il gas in riferimento al servizio di maggior tutela per clienti non domestici (1 ottobre 2012), mentre per il valore di vendita dell’elettricità si utilizzano i valori minimi garantiti inerenti al ritiro dedicato come da deliberazione dell’Autorità per l’energia elettrica e il gas 6 novembre 2007, n.280/07 per l’anno 2013. Le variazioni di tutte le componenti del costo del singolo kWh sono considerate equivalenti e, come per il costo del singolo pannello fotovoltaico da un kWp “chiavi in mano” sono introdotti più valori.

Il valore di autoconsumo imposto è l’incognita degli esempi, si variano costi del fotovoltaico e andamenti futuri del valore dell’elettricità andando a ricercare il valore di autoconsumo che determina un VAN nullo per una durata di vita dell’impianto di 10 (figura 4.13), 15 (figura 4.14) e 20 anni (figura 4.15)⁹.

Nel caso di impianti industriali di grandi dimensioni molto spesso si hanno dei contratti di fornitura di energia elettrica stipulati nel libero mercato. Il valore dell’energia acquistata (quindi autoconsumata) è sensibilmente

⁹Le varie linee raffigurate in tutti i grafici da figura 4.13 a figura 4.23 sono relative al valore di inflazione e aumento di valore dell’energia ipotizzati (i_{inf}/r_{ae}).

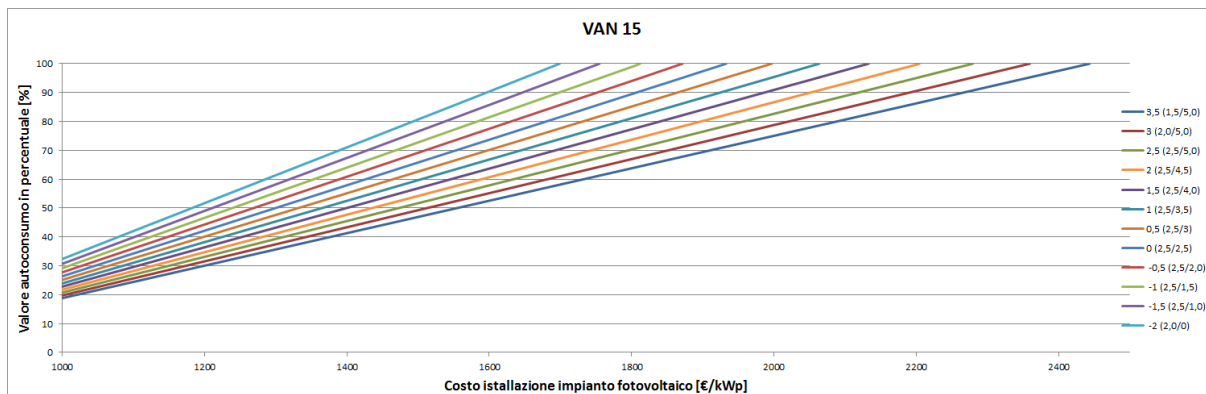


Figura 4.14: Autoconsumo minimo per avere VAN positivo con investimento di durata 15 anni ($P_{FV} = 4.5 MW$).

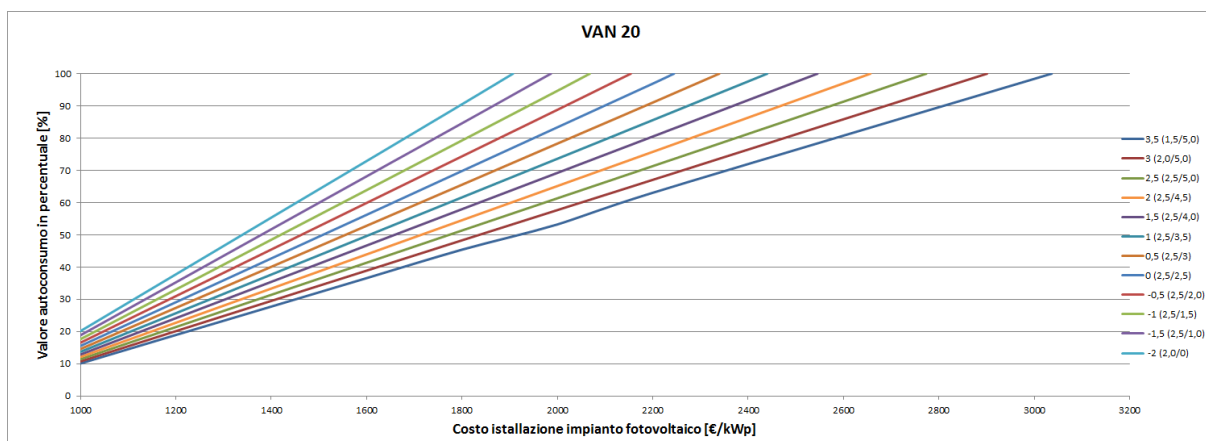


Figura 4.15: Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 20 anni ($P_{FV} = 4.5 MW$).

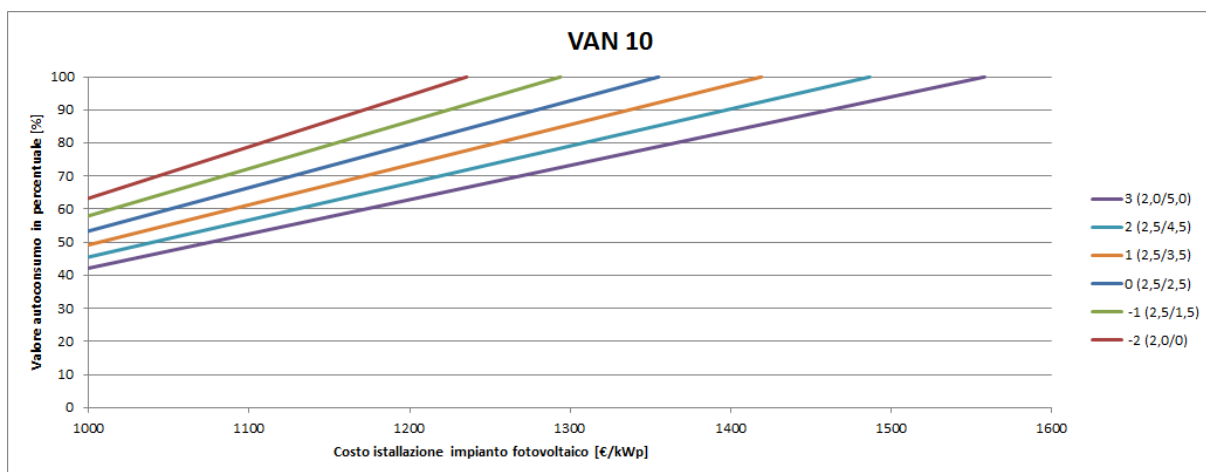


Figura 4.16: Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 10 anni nel mercato libero ($P_{FV} = 4.5 MW$).

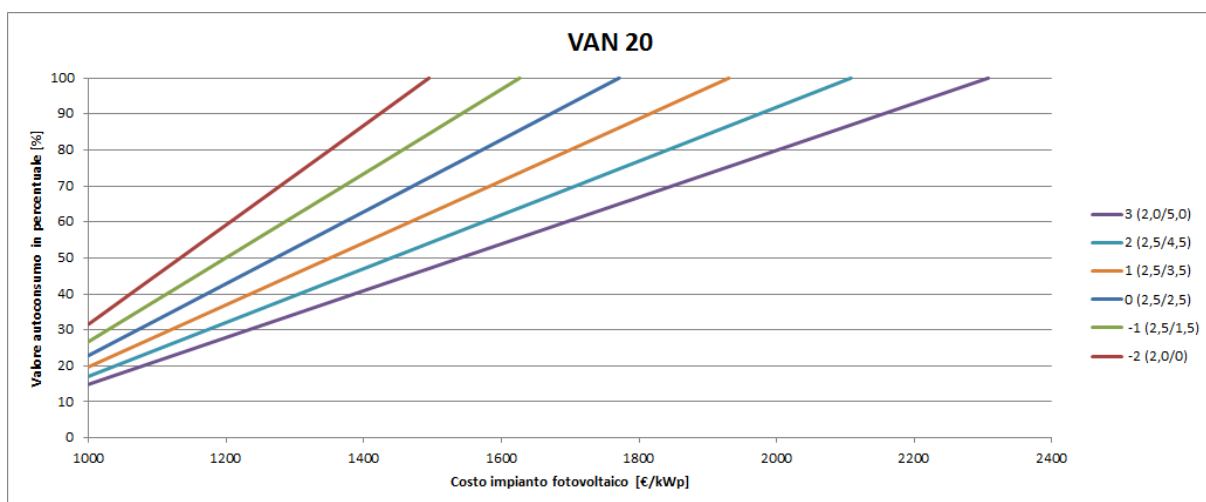


Figura 4.17: Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 20 anni nel mercato libero ($P_{FV} = 4.5 MW$).

ridotta. Rispettando i valori esposti nel capitolo 2 (figura 2.5) riesaminiamo l'esempio precedente imponendo i nuovi valori per l'energia acquistata (10 anni figura 4.16 e 20 anni figura 4.17):

$$v_{eF1} = 15,2 [c€/kWh]$$

$$v_{eF2} = 15,6 [c€/kWh]$$

$$v_{eF3} = 14,9 [c€/kWh]$$

4.3.2 Impianto industriale di medie dimensioni

Si ipotizzi un'azienda media piccola con ingenti consumi di energia elettrica che si interessi alla realizzazione di un impianto fotovoltaico. Introducendo i dati generali è calcolato tramite programma A il quantitativo di energia autoconsumata necessario per rendere nullo il VAN a distanza di 10, 15 e 20 anni ipotizzando più scenari futuri per l'andamento del valore dell'energia e diversi costi del pannello fotovoltaico.

Valori fissi:

- anno di installazione (a) = 2013;
- potenza impegnata dall'utenza in kWp (P_u) = 300 kWp;
- potenza impianto FV in kWp (P_{FV}) = 300 kWp;

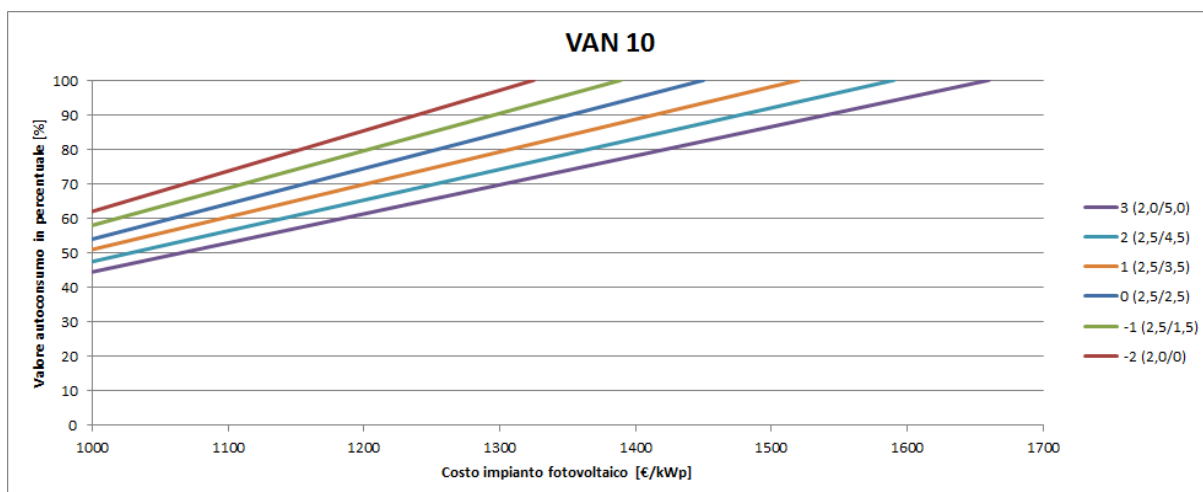


Figura 4.18: Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 10 anni ($P_{FV} = 300\text{kW}$).

- irraggiamento in kWh/m^2 (I_{rr}) = $1350 \text{ kWh}/\text{m}^2$;
- performance ratio in $\% \text{ m}^2/\text{kWp}$ (r_{FV}) = 90% ;
- degradazione impianto FV durante il primo anno in $\%$ (d_1) = $-0,5\%$;
- degradazione impianto FV durante i successivi anni in $\%$ (d) = $-0,5\%$;
- costo specifico O&M + assicurazione $\text{€a}/\text{kWp}$ ($c_{O\&M}$) = $40 \text{ €}/\text{kWp}$;
- variazione annuale costo O/M in $\%$ ($r_{O\&M}$) posto uguale all'inflazione.

I dati finanziari sono:

- capitale proprio in $\%$ (b_p) = 30% ;
- interesse sul capitale proprio in $\%$ (t_p) = 12% ;
- interesse sul capitale a debito in $\%$ (t_f) = 7% ;
- durata del finanziamento in anni (a_f) = 15 a .

Per il calcolo dei quantitativi di energia prodotta e consumata è utilizzata la modalità semplice imponendo i consumi equivalenti alla produzione e una divisione per fasce orarie della produzione totale imposta come:

- produzione annua in fascia F1 (e_{pF1}) = $70,5 \%$;
- produzione annua in fascia F2 (e_{pF2}) = 14% ;
- produzione annua in fascia F3 (e_{pF3}) = $15,5\%$.

Per il valore di autoconsumo è utilizzata la modalità “imposta” e per i costi dell'energia si utilizzano i dati dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas in riferimento al servizio di maggior tutela per clienti non domestici (1 ottobre 2012), mentre per il valore di vendita dell'elettricità si utilizzano i valori minimi garantiti inerenti al ritiro dedicato come da deliberazione dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas 6 novembre 2007, n.280/07 per l'anno 2013. Le variazioni di tutte le componenti del costo del singolo kWh sono considerate equivalenti e, come per il costo del singolo pannello fotovoltaico da un kWp “chiavi in mano” sono introdotti più valori.

Il valore di autoconsumo imposto è l'incognita degli esempi, si variano costi del fotovoltaico e andamenti futuri del valore dell'elettricità andando a ricercare il valore di autoconsumo che determina un VAN nullo per una durata di vita dell'impianto di 10 (figura 4.18), 15 (figura 4.19) e 20 anni (figura 4.20).

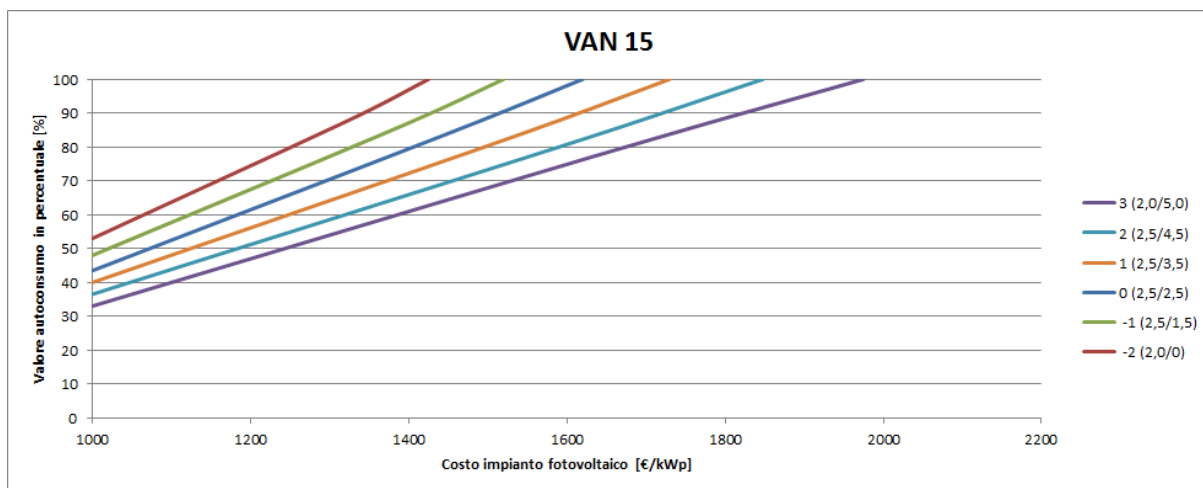


Figura 4.19: Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 15 anni ($P_{FV} = 300kW$).

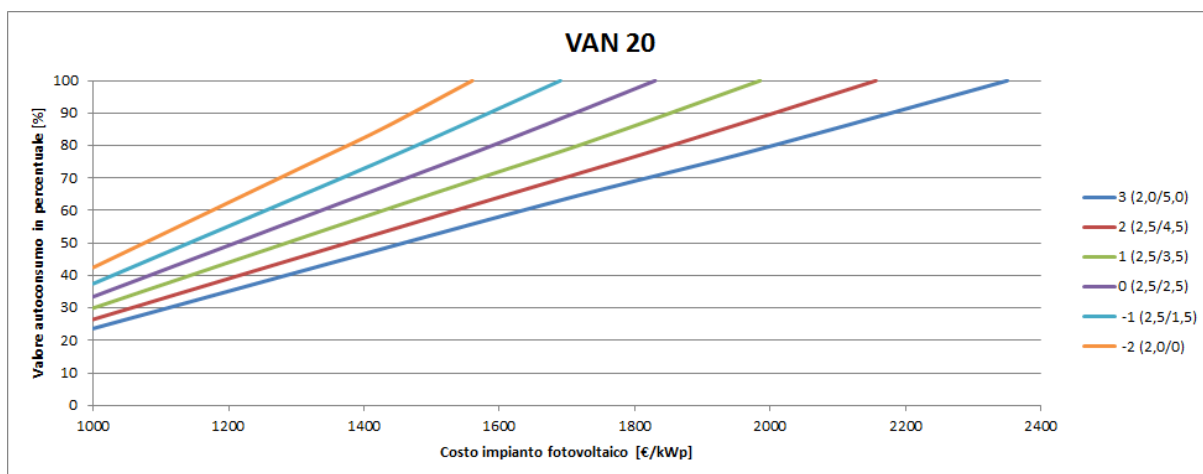


Figura 4.20: Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 20 anni ($P_{FV} = 300kW$).

4.3.3 Impianto industriale di piccole dimensioni

Si ipotizzi un'azienda piccola con ingenti consumi di energia elettrica che si interessi alla realizzazione di un impianto fotovoltaico. Introducendo i dati generali è calcolato tramite programma A il quantitativo di energia autoconsumata necessario per rendere nullo il VAN a distanza di 10, 15 e 20 anni ipotizzando più scenari futuri per l'andamento del valore dell'energia e diversi costi del pannello fotovoltaico.

Valori fissi:

- anno di installazione (a) = 2013;
- potenza impegnata dall'utenza in kWp (P_u) = 15 kWp;
- potenza impianto FV in kWp (P_{FV}) = 15 kWp;
- irraggiamento in kWh/m² (Irr) = 1350 kWh/m²;
- performance ratio in % di m²/kWp (r_{FV}) = 90%;
- degradazione impianto FV durante il primo anno in % (d_1) = -0,5%;
- degradazione impianto FV durante i successivi anni in % (d) = -0,5%;
- costo specifico O&M + assicurazione €/a/kWp ($c_{O\&M}$) = 45 €/kWp;
- variazione annuale costo O/M in % ($r_{O\&M}$) posto uguale all'inflazione.

I dati finanziari sono:

- capitale proprio in % (b_p) = 30 %;
- interesse sul capitale proprio in % (t_p) = 12 %;
- interesse sul capitale a debito in % (t_f) = 7 %;
- durata del finanziamento in anni (a_f) = 15 a.

Per il calcolo dei quantitativi di energia prodotta e consumata è utilizzata la modalità semplice imponendo i consumi equivalenti alla produzione e una divisione per fasce orarie della produzione totale imposta come:

- produzione annua in fascia F1 (e_{pF1}) = 70,5 %;
- produzione annua in fascia F2 (e_{pF2}) = 14 %;
- produzione annua in fascia F3 (e_{pF3}) = 15,5%.

Per il valore di autoconsumo è utilizzata la modalità "imposta" e per i costi dell'energia si utilizzano i dati dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas in riferimento al servizio di maggior tutela per clienti non domestici (1 ottobre 2012), mentre per il valore di vendita dell'elettricità si utilizzano i valori minimi garantiti inerenti al ritiro dedicato come da deliberazione dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas 6 novembre 2007, n.280/07 per l'anno 2013. Le variazioni di tutte le componenti del costo del singolo kWh sono considerate equivalenti e, come per il costo del singolo pannello fotovoltaico da un kWp "chiavi in mano" sono introdotti più valori.

Il valore di autoconsumo imposto è l'incognita degli esempi, si variano costi del fotovoltaico e andamenti futuri del valore dell'elettricità andando a ricercare il valore di autoconsumo che determina un VAN nullo per una durata di vita dell'impianto di 10 (figura 4.21), 15 (figura 4.22) e 20 anni (figura 4.23).

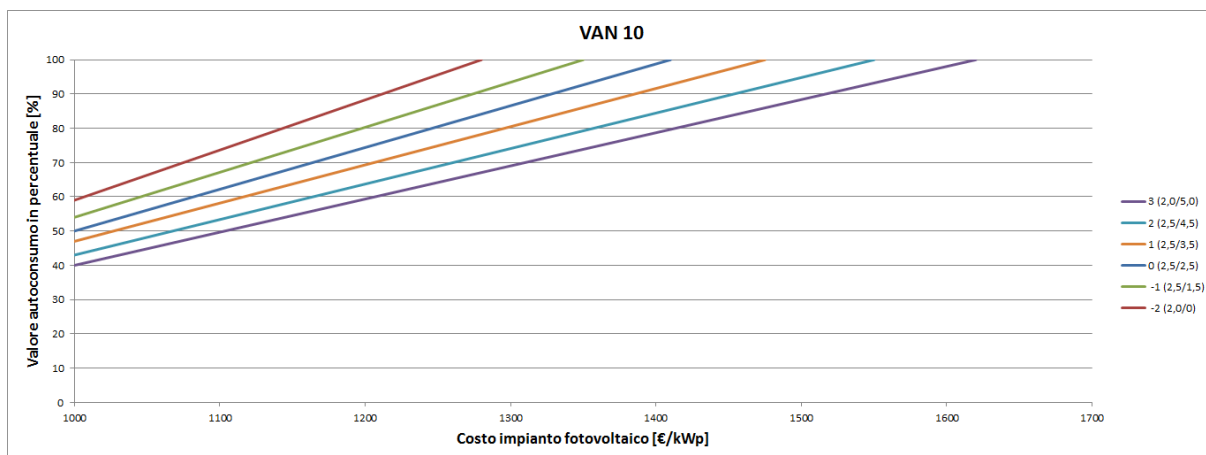


Figura 4.21: Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 10 anni ($P_{FV} = 15 kW$)

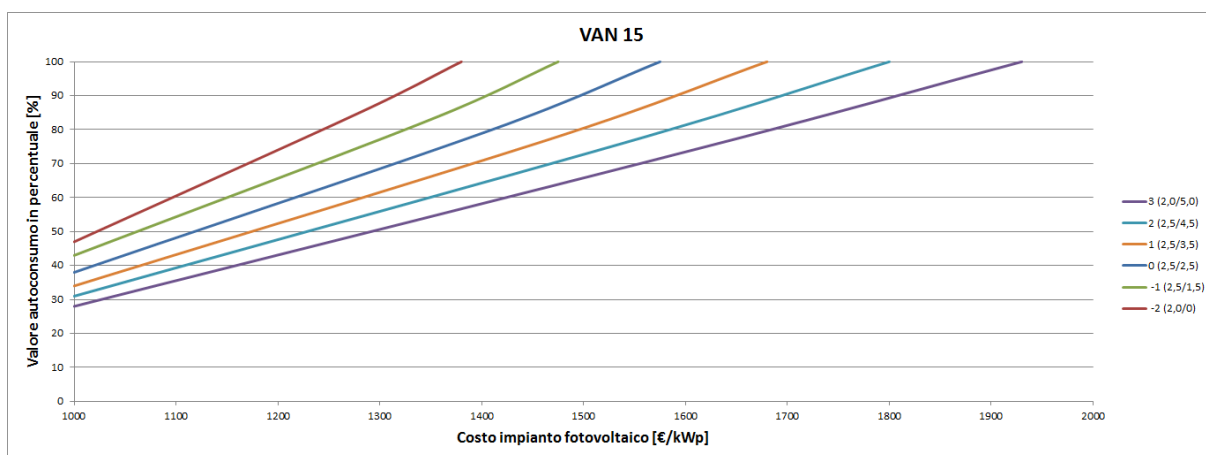


Figura 4.22: Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 15 anni ($P_{FV} = 15 kW$)

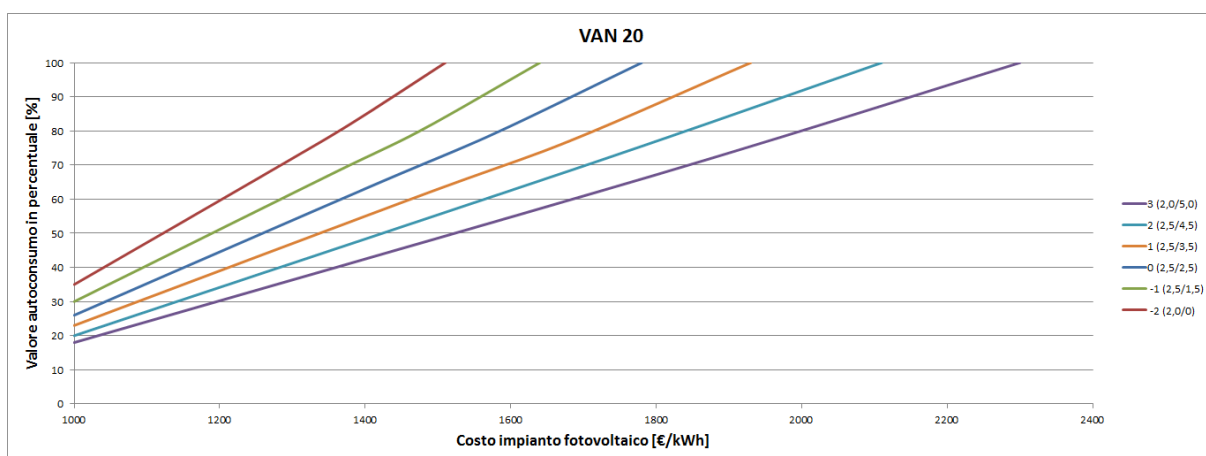


Figura 4.23: Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 20 anni ($P_{FV} = 15 kW$)

Capitolo 5

FOGLI ESPANSIONE OR

Per osservare l'incidenza dell'analisi tramite OR nella valutazione di un investimento nel fotovoltaico si sono aggiunti, al programma base commissionato dalla ditta specializzata, una serie di fogli elettronici trattanti ciascuno una singola tipologia di OR.

I dati di partenza quali:

- i quantitativi di energia e il loro andamento nel tempo (E_c, E_p, E_a, E_v e E_q);
- i costi d'investimento e la loro distribuzione nel tempo (I_p, I_f, I_{int});
- il tasso di attualizzazione (t_s);
- i costi di manutenzione iniziale e la sua variazione annua ($C_{O\&M}, r_{O\&M}$);
- i valori di energia all'anno zero (v_e, v_a e v_v);

sono i medesimi del foglio base. Si ha invece un nuovo foglio per il calcolo dell'andamento futuro dei valori di energia, basato su una struttura ad albero binomiale e quindi adatto alla trattazione delle varie OR.

Per costruire l'albero binomiale si introducono i valori massimo e minimo di variazione del prezzo dell'energia (u_e, d_e) e dell'inflazione (u_i, d_i), assegnando ad ognuno di essi una probabilità oggettiva (q e $(1 - q)$). Come confronto efficace con la metodologia VAN tradizionale si devono fissare i valori ($u_{i,e}, d_{i,e}$ e q) in maniera tale che il risultato medio coincida con la variazione indicata nel programma base. Ciò provoca la perfetta coincidenza di risultati dei due metodi in assenza di opzioni reali attive. Tale procedimento non è automatizzato e sta all'accortezza dell'utente del foglio la verifica continua dell'equivalenza.

$$\frac{(1 + r_{ea})}{(1 + i_{inf})} = q \cdot \frac{(1 + u_e)}{(1 + u_i)} + (1 - q) \cdot \frac{(1 + d_e)}{(1 + d_i)} \quad (5.1)$$

5.1 FOGLIO BASE OR

Il foglio "base OR" rappresenta il fulcro dell'analisi OR e contiene i valori di cui sopra (capitolo 5). Partendo dal valore attuale dell'energia (v_e) è costruito l'albero binomiale dell'andamento del prezzo dell'energia considerando una durata di vita dell'impianto fotovoltaico di 20 anni. Come esempio ci si basa sulla figura 5.1.

Tramite Excel (o un qualunque altro programma trattante i fogli di calcolo) si realizza il suddetto albero binomiale con i seguenti semplici passaggi:

- nella prima cella (B8) si riporta il valore iniziale (v_e) posto in B3;
- nella seconda cella (C8) si inserisce la formula:

$$= B8 \cdot \frac{(1 + \$B\$4)}{(1 + \$D\$4)} \quad (5.2)$$

- la si copia su tutta la prima riga (da C8 a U8);

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
1	Costruzione albero binomiale andamento prezzo elettricità																					
2	Dati in ingresso																					
3	ve	18 c€/kWh																				
4	ue	0,04	ui																		0,02	
5	de	0,03	di																	0,025		
6																						
7	Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
8	0	18,00	18,35	18,71	19,08	19,45	19,84	20,22	20,62	21,03	21,44	21,86	22,29	22,72	23,17	23,62	24,09	24,56	25,04	25,53	26,03	
9	1		18,09	18,44	18,80	19,17	19,55	19,93	20,32	20,72	21,13	21,54	21,96	22,39	22,83	23,28	23,74	24,20	24,68	25,16	25,66	
10	2			18,18	18,53	18,90	19,27	19,64	20,03	20,42	20,82	21,23	21,65	22,07	22,50	22,95	23,40	23,85	24,32	24,80	25,29	
11	3				18,26	18,62	18,99	19,36	19,74	20,13	20,52	20,92	21,33	21,75	22,18	22,61	23,06	23,51	23,97	24,44	24,92	
12	4					18,35	18,71	19,08	19,45	19,84	20,23	20,62	21,03	21,44	21,86	22,29	22,72	23,17	23,62	24,09	24,56	
13	5						18,44	18,80	19,17	19,55	19,93	20,32	20,72	21,13	21,54	21,97	22,40	22,84	23,28	23,74	24,20	
14	6							18,53	18,90	19,27	19,65	20,03	20,42	20,82	21,23	21,65	22,07	22,51	22,95	23,40	23,86	
15	7								18,62	18,99	19,36	19,74	20,13	20,52	20,92	21,34	21,75	22,18	22,62	23,06	23,51	
16	8									18,71	19,08	19,46	19,84	20,23	20,62	21,03	21,44	21,86	22,29	22,73	23,17	
17	9										18,81	19,17	19,55	19,93	20,32	20,72	21,13	21,54	21,97	22,40	22,84	
18	10											18,90	19,27	19,65	20,03	20,42	20,82	21,23	21,65	22,07	22,51	
19	11												18,99	19,36	19,74	20,13	20,52	20,93	21,34	21,75	22,18	
20	12													19,08	19,46	19,84	20,23	20,62	21,03	21,44	21,86	
21	13														19,18	19,55	19,93	20,33	20,72	21,13	21,54	
22	14															19,27	19,65	20,03	20,42	20,83	21,23	
23	15																19,36	19,74	20,13	20,52	20,93	
24	16																	19,46	19,84	20,23	20,62	
25	17																		19,55	19,94	20,33	
26	18																			19,65	20,03	
27	19																				19,74	
28																						

Figura 5.1: Costruzione albero binomiale tramite Excel

- nella cella C9 si inserisce:

$$= B8 \cdot \frac{(1 + \$B\$5)}{(1 + \$D\$5)} \quad (5.3)$$

- e la si copia in tutte le restanti celle dell'albero binomiale (da C9 a U27).

Si è costruita la base per tutti i successivi passaggi utilizzando le OR.

L'albero così costruito equivale alla colonna del valore dell'energia precedentemente utilizzata nel foglio base e i valori dei rendimenti da vendita e autoconsumo dell'energia si determinano con le stesse formule viste prima, con j che però indica il nodo dell'albero e non più semplicemente l'anno (ogni anno ha più nodi):

$$R_{aj} = E_{aj} \cdot v_{aj} \text{ [€]} \quad (5.4)$$

$$R_{vj} = E_{vj} \cdot v_{vj} \text{ [€]} \quad (5.5)$$

Per la valutazione del valore specifico dell'energia autoconsumata (v_a) è introdotto l'assunto che il valore sia sempre una percentuale fissa rispetto al valore di acquisto dell'energia (v_e):

$$\%v_a = \frac{v_a}{v_e} \quad (5.6)$$

mentre per il valore specifico dell'energia venduta (v_v) si assume (come da normativa del Ritiro Dedicato) che il suo aumento nel tempo segua l'inflazione e per ogni j nodo è determinato il corretto rendimento costruendo il relativo albero binomiale:

$$R_j = v_{ej} \cdot \%v_a \cdot E_{aj} + E_{vj} \cdot v_v \text{ [€]} \quad (5.7)$$

Le quantità di energie da considerare non variano in ogni j nodo ma sono legate al solo anno e possono essere rappresentate tramite albero binomiale e/o come valore percentuale dell'energia prodotta o consumata. Un foglio di calcolo permette tutte le possibilità agevolmente e il foglio in esame le tratta come percentuali del valore di energia consumata riportando su una riga tale grandezza annuale.

Dall'albero binomiale dei rendimenti è determinato l'albero dell'asset sottostante il nostro investimento, cioè sono riportati sotto forma di albero binomiale tutti i flussi di cassa ad eccezione dei costi di investimento, praticamente è sottratto ad ogni nodo dell'albero dei rendimenti il costo di manutenzione relativo.

$$D_j = R_j - C_{O\&Mj} [\text{€}] \quad (5.8)$$

Da codesti valori è calcolato l'andamento del valore sottostante all'investimento in esame, come indicato nelle formule da 3.28 a 3.37:

$$VA_j = \frac{VA_{ju} \cdot q + VA_{jd} \cdot (1 - q)}{(1 + t_s)} + D_j [\text{€}] \quad (5.9)$$

dove ju e jd rappresentano i due nodi a valle del nodo j considerato.

Per determinare il VAN del progetto è costruito un albero binomiale che oltre al costo di manutenzione considera i costi di investimento:

$$D'_j = R_j - C_{O\&Mj} - I_j [\text{€}] \quad (5.10)$$

$$VAN_j = \frac{VAN_{ju} \cdot q + VAN_{jd} \cdot (1 - q)}{(1 + t_s)} + D'_j [\text{€}] \quad (5.11)$$

è quindi l'albero binomiale che in ogni nodo j presenta il valore attuale attualizzato rispetto a tale j nodo.

Il foglio per comodità e completezza prevede un procedimento di attualizzazione diverso: sono attualizzate all'istante iniziale tutte le grandezze e quindi sono ripetuti i calcoli di cui prima (il risultato al nodo zero è equivalente):

$$R_{jat} = \frac{R_j}{(1 + t_s)^j} [\text{€}] \quad (5.12)$$

$$C_{O\&Mjat} = \frac{C_{O\&Mj}}{(1 + t_s)^j} [\text{€}] \quad (5.13)$$

$$D_{jat} = R_{jat} - C_{O\&Mjat} [\text{€}] \quad (5.14)$$

$$VA_{jat} = VA_{jatu} \cdot q + VA_{jatl} \cdot (1 - q) + D_{jat} [\text{€}] \quad (5.15)$$

$$I_{jat} = \frac{I_j}{(1 + t_s)^j} [\text{€}] \quad (5.16)$$

$$D'_{jat} = R_{jat} - C_{O\&Mjat} - I_{jat} [\text{€}] \quad (5.17)$$

$$VAN_{jat} = VAN_{jatu} \cdot q + VAN_{jatl} \cdot (1 - q) + D'_{jat} [\text{€}] \quad (5.18)$$

La trattazione delle OR prevede l'utilizzo della probabilità priva di rischio (p) e del tasso privo di rischio (t_r). Basandosi sul concetto di Mad per il calcolo della p si utilizza il valore dell'asset sottostante (VA). Introducendo il costo di manutenzione con valore non proporzionale al rendimento in ogni nodo si dovrebbe calcolare per ogni passaggio la relativa p . Ciò equivarrebbe ad appesantire fortemente il processo di costruzione e calcolo dei fogli. L'errore nell'evitare di calcolare le p e utilizzare direttamente la q e il t_s sta nel fatto che introducendo le opzioni variano i flussi di cassa e quindi varia il rischio legato all'investimento (riducendolo). Si dovrebbe perciò, a parità di probabilità (volendo comunque usare la q) utilizzare un t_s minore; l'errore nel non farlo risulta essere cautelativo e quindi accettabile.

5.2 FOGLIO OR ABBANDONO

Il foglio OR abbandono prevede la possibilità di introdurre un determinato prezzo di vendita dell'impianto (K) e valuta la possibilità di abbandonare l'investimento come descritto nel sottocapitolo 3.5.2.

La possibilità di optare per l'abbandono può essere caratterizzata da dei limiti temporali come essere sempre possibile, il foglio di tale programma non prevede un sistema automatico di introduzione dei limiti temporali, lasciando all'utente il compito di introdurre dove possibile l'opzione di abbandono. Nel foglio OR abbandono è riportato l'albero binomiale dei flussi attualizzati (D_{jat}) e i vari costi dell'impianto (I_{jat}).

Viene poi costruito l'albero binomiale OR abbandono: nei nodi in cui è possibile l'opzione di abbandono si riporta il confronto fra il valore di abbandono attualizzato e il valore al nodo j "normale".

$$OR_{jat} = \text{MAX}[D_{jat} - I_{jat} + q \cdot OR_{jatu} + (1 - q) \cdot OR_{jatl}; \frac{K}{(1 + t_s)^j} - \sum_{x=j}^n I_{xat}] \quad (5.19)$$

Nei nodi in cui l'opzione non è possibile se sono nodi a valle dei nodi contenenti l'opzione si riporta semplicemente il VAN_{jat} già calcolato nel foglio "base OR".

$$OR_{jat} = VAN_{jat} \quad (5.20)$$

Se invece sono a monte dei nodi contenenti l'opzione, si calcola il valore OR come se l'opzione non esistesse

$$OR_{jat} = D_{jat} - I_{jat} + q \cdot OR_{jatu} + (1 - q) \cdot OR_{jatl} \quad (5.21)$$

E' riportato anche l'albero binomiale per il calcolo del VAN_{jat} come da foglio "base OR" e tramite confronto diretto si individua la scelta realizzata in ogni nodo (*Abbandonare; Proseguire con l'investimento*) e si evidenzia la differenza fra il valore individuato tramite OR e il VAN tradizionale all'istante iniziale.

5.3 FOGLIO OR ESPANSIONE/CONTRAZIONE

Il foglio OR espansione prevede la possibilità di introdurre un determinato prezzo (K) per l'aumento del valore di energia autoconsumata (r_{esp}) e valuta la possibilità di aumentare l'autoconsumo a confronto con la scelta di continuare con l'investimento normale come descritto nel sottocapitolo 3.5.1.

La possibilità di optare per l'espansione può essere caratterizzata da dei limiti temporali come essere possibile in ogni anno; il foglio di tale programma non prevede un sistema automatico di introduzione dei limiti temporali, lasciando all'utente il compito di introdurre dove possibile l'Opzione Reale espansione e limitando l'opzione ad un anno specifico. Nel foglio OR espansione sono riportati l'albero binomiale dei flussi attualizzati (D_{jat}), l'albero binomiale del valore dell'energia elettrica (v_{ej}) e i vari costi dell'impianto (I_{jat} e $C_{O\&M_{jat}}$); è riportato il quantitativo di energia venduta e autoconsumata annualmente (E_{vj} e E_{aj}) ed è riportato l'albero binomiale del VAN_{jat} .

Per valutare l'Opzione Reale espansione sono calcolati i quantitativi "espansi" dall'energia autoconsumata e venduta (E_{evj} e E_{eaj})

$$E_{eaj} = E_{aj} \cdot (1 + r_{esp}) \quad (5.22)$$

$$E_{evj} = E_{aj} + E_{vj} - E_{eaj} \quad (5.23)$$

e sono determinati i valori dei rendimenti negli anni post possibilità di espansione (R_{espj})

$$R_{espj} = \frac{[v_{ej} \cdot (E_{eaj} \cdot \%v_e + E_{evj} \cdot \%v_v)]}{(1 + t_s)^j} [\text{€}] \quad (5.24)$$

mentre negli anni precedenti la possibilità di espansione il rendimento è invariato

$$R_{espj} = R_{jat} [\text{€}] \quad (5.25)$$

è calcolato il valore attuale netto nel caso di espansione (VAN_{espj}):

$$D'_{espj} = R_{espj} - C_{O\&M_{jat}} - I_{jat} [\text{€}] \quad (5.26)$$

$$VAN_{espj} = VAN_{espju} \cdot q + VAN_{espjd} \cdot (1 - q) + D'_{espj} [\text{€}] \quad (5.27)$$

Per determinare il valore dell'Opzione Reale espansione è introdotto nell'anno in cui è prevista la possibilità di espansione il confronto

$$OR_{espj} = MAX(VAN_{espj} - \frac{K}{(1+t_s)^j}; VAN_{jat}) [€] \quad (5.28)$$

e nei nodi a monte è determinato il valore OR_{espj} come

$$OR_{espj} = D_{jat} - I_{jat} + q \cdot OR_{espju} + (1 - q) \cdot OR_{espjd} \quad (5.29)$$

tramite confronto diretto fra OR_{espj} e VAN_{jat} è individuata la scelta realizzata in ogni nodo (*Espandere; Proseguire con l'investimento*) ed è evidenziata la differenza fra il valore individuato tramite OR_{esp} , il VAN_{esp} e il VAN_{at} .

Il foglio OR contrazione si basa sugli stessi calcoli del foglio OR espansione ma il costo di espansione è un ricavo da riduzione ($-K$) e il valore di variazione percentuale dell'autoconsumo da introdurre è negativo anziché positivo.

5.4 FOGLIO OR PROLUNGAMENTO

Il foglio OR prolungamento prevede la possibilità di introdurre un determinato prezzo (K) per aumentare la vita dell'impianto (a_f) e valuta la possibilità di optare per l'aumento di vita dell'impianto a confronto con la possibilità di abbandonare l'impianto come descritto nel sottocapitolo 3.5.4.

La possibilità di optare per il prolungamento della vita dell'impianto può essere prevista dopo qualunque numero di anni e il foglio OR prolungamento per evitare orizzonti temporali troppo elevati e basarsi sui valori già calcolati ipotizza la fine della vita dell'impianto dopo a_{OR} anni ($a_{OR} < a_f$) e conseguentemente la possibilità di prolungare la vita dell'impianto per $a_{pr} = a_f - a_{OR}$ anni.

Anche in tale foglio non è possibile l'introduzione automatica dell'anno con la possibilità di prolungamento (a_{OR}) ma si deve costruire per ogni anno scelto uno specifico foglio.

Viene riportato l'albero binomiale completo dei flussi attualizzati (D_{jat}) e i costi di investimento (I_{jat}). Per confronto è calcolato il valore attuale atteso dell'investimento avente durata di vita a_{OR} come da formule 5.17 e 5.18. Con le stesse formule si calcola il VAN per tutti i nodi a valle dell'anno a_{OR} fino all'anno a_f (VAN_{prol}). L'OR prolungamento è quindi calcolata ponendo in ogni j nodo dell'anno a_{OR}

$$OR_{prolj} = MAX(VAN_{prolj} - \frac{K}{(1+t_s)^j}; VAN_{jat}) [€] \quad (5.30)$$

mentre nei nodi a monte è calcolata ponendo

$$OR_{prolj} = D_{jat} - I_{jat} + q \cdot OR_{prolju} + (1 - q) \cdot OR_{proljd} \quad (5.31)$$

tramite confronto diretto fra OR_{prolj} e VAN_{jat} è individuata la scelta realizzata in ogni nodo (*Prolungare; Abbandonare l'investimento*) ed è evidenziata la differenza fra il valore individuato tramite OR_{prol} e il VAN_{at} all'istante iniziale.

5.5 FOGLIO OR DIFFERIRE

L'Opzione Reale differire, vista la sua natura generalista, è la più investigata in letteratura; a differenza delle precedenti OR infatti è sempre possibile differire nel tempo la realizzazione di un impianto fotovoltaico e il costo nel farlo non è un valore specifico di ogni investimento (non esiste un K specifico come per le precedenti OR). L'unico vincolo è la convenienza economica del differire. Il limite temporale esistente per l'opzione di differimento è il numero di anni massimi per cui si vuole calcolare il valore del differimento (a_{dif}).

Un'ulteriore differenza con le precedenti OR è la necessità di introdurre un'altra variabile: la diminuzione nel tempo del costo dell'impianto (r_{cFV}). Nel foglio, tale riduzione è richiesta in percentuale annua e si riferisce al costo specifico "chiavi in mano" (c_{FV}) utilizzato dal programma A. Per trattare l'OR differire il foglio assume che l'intero costo d'investimento sia concentrato ogni volta nel primo anno. Viene riportato quindi il valore totale dell'investimento e si ipotizza il costo totale dell'investimento se differito all'anno y come:

$$I_{difjy} = I \cdot r_{cFV}^y [€] \quad (5.32)$$

Valore che viene attualizzato ipotizzando una possibilità continua di accesso al credito da parte dell'investitore:

$$I_{diffyat} = \frac{I_{diffy}}{(1+t_s)^y} [\text{€}] \quad (5.33)$$

Nel foglio è riportato l'albero binomiale completo dei flussi attualizzati (D_{jat}), l'albero dell'andamento del valore sottostante all'investimento attualizzato (VA_{jat}) e, sottraendo in ogni nodo il relativo costo di investimento (identificato in base all'anno a cui appartiene il j nodo) è ottenuto il valore attualizzato netto dell'investimento realizzato in ogni j nodo:

$$VAN_{diffj} = VA_{jat} - I_{diffjat} [\text{€}] \quad (5.34)$$

Per determinare il valore dell'opzione di differire è posto in ogni j nodo:

$$OR_{diffj} = \text{MAX}[VAN_{diffj}; q \cdot OR_{diffju} + (1-q) \cdot OR_{diffjd}] \quad (5.35)$$

Tramite confronto diretto fra OR_{diffj} e VAN_{diffj} è individuata la scelta realizzata in ogni nodo (*Realizzare l'investimento; Differire*) ed è evidenziata la differenza fra il valore individuato tramite OR_{diff} e il VAN_{diff} all'istante iniziale.

5.6 CASI REALISTICI

Basandosi sui dati dell'esempio esposto nel capitolo 4.3.1 (impianto industriale di grandi dimensioni) viene esaminato come l'introduzione delle varie Opzioni Reali incida sul valore attuale atteso dell'investimento.

5.6.1 OR abbandono

Si introduce la possibilità di abbandonare l'impianto a partire dal quinto anno fino al quindicesimo, ricavando un valore dall'abbandono dello stesso. Il valore base per il confronto e il calcolo del valore dell'opzione (OR) è dato dal programma A con i seguenti dati in ingresso:

- anno di installazione (a) = 2013;
- potenza impegnata dall'utenza in kWp (P_u) = 4500 kWp;
- potenza impianto FV in kWp (P_{FV}) = 4500 kWp;
- irraggiamento in kWh/m² (Irr) = 1350 kWh/m²;
- performance ratio in % di m²/kWp (r_{FV}) = 90%;
- degradazione impianto FV durante il primo anno in % (d_1) = -0,5%;
- degradazione impianto FV durante i successivi anni in % (d) = -0,5%;
- costo specifico impianto "chiavi in mano" €/kWp (c_{FV}) = 1400 €/kWp;
- costo specifico O&M + assicurazione €/kWp ($c_{O&M}$) = 30 €/kWp;
- variazione annuale costo O/M in % ($r_{O&M}$) posto uguale all'inflazione;
- valore percentuale di autoconsumo % (e_a) = 43,5 %.

I dati finanziari sono:

- capitale proprio in % (b_p) = 30 %;
- interesse sul capitale proprio in % (t_p) = 10 %;
- interesse sul capitale a debito in % (t_f) = 5 %;
- durata del finanziamento in anni (a_f) = 5 a.

Incertezza		
nulla (q=50%)	i_{infu}	2,5%
	r_{aeu}	3,5%
	$i_{inf d}$	2,5%
	r_{aed}	3,5%
bassa (q=50%)	i_{infu}	2,5%
	r_{aeu}	4,0%
	$i_{inf d}$	2,0%
	r_{aed}	1,5%
media (q=44,5%)	i_{infu}	2,0%
	r_{aeu}	5,0%
	$i_{inf d}$	1,5%
	r_{aed}	0,0%
elevata (q=46,5%)	i_{infu}	1,5%
	r_{aeu}	6,0%
	$i_{inf d}$	2,0%
	r_{aed}	-1,0%
valore medio	$i_{inf m}$	2,5%
	r_{aem}	3,5%

Tabella 5.1: Tabella delle incertezze usate

Per il calcolo dei quantitativi di energia prodotta e consumata al primo anno viene utilizzata la modalità semplice imponendo i consumi equivalenti alla produzione e una divisione per fasce orarie della produzione totale imposta come:

- produzione annua in fascia F1 (e_{pF1}) = 70,5 %;
- produzione annua in fascia F2 (e_{pF2}) = 14 %;
- produzione annua in fascia F3 (e_{pF3}) = 15,5%.

Per il valore di autoconsumo è utilizzata la modalità “imposta” con percentuale costante per tutte le fasce orarie; per i costi dell’energia si utilizzano i dati dell’Autorità per l’energia elettrica e il gas, in riferimento al servizio di maggior tutela per clienti non domestici (1 ottobre 2012); per il valore di vendita dell’elettricità si utilizzano i valori minimi garantiti inerenti al ritiro dedicato, come da deliberazione dell’Autorità per l’energia elettrica e il gas 6 novembre 2007, n.280/07 per l’anno 2013. Le variazioni di tutte le componenti del costo del singolo kWh sono considerate equivalenti e sono valutate ad uguale valore medio con quattro incertezze crescenti¹ (tabella 5.1).

L’aumento del valore dell’OR abbandono al crescere del valore di abbandono è esposto nella figura 5.2.

5.6.2 OR espansione

Si utilizzano gli stessi dati dell’esempio precedente (capitolo 5.6.1) e le stesse quattro configurazioni di incertezza (tabella 5.1). Si introduce la possibilità di espandere l’autoconsumo all’ottavo anno di funzionamento dell’impianto a fronte di un investimento monetario (come descritto nel capitolo 3.5.1).

Al crescere del valore di autoconsumo si determinano il valore dell’OR espansione nel caso di costo nullo di espansione (figura 5.3).

Introducendo l’incertezza sul valore futuro dell’elettricità al crescere della quota di autoconsumo si determinano il costo massimo di espansione e il costo minimo per cui conviene comunque considerare l’opzione di non espandere l’autoconsumo² (figura 5.4, 5.5, ³ 5.6 e 5.7).

L’opzione di espansione permette di determinare tutte le possibili combinazioni di costo e relativo aumento del valore di autoconsumo che accrescono il valore dell’investimento. Basandoci sul grafico delle possibili combinazioni costo-autoconsumo raggiunto (utilizzato nelle figure 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7), il VAN identifica un costo unico

¹Il valore dell’investimento calcolato tramite tutte le configurazioni di incertezza e senza opzione (valore OR = 0€) è equivalente al VAN calcolato tramite programma A con $i_{inf}=2,5$ e $r_{ae}=3,5$.

²Sotto tale valore l’analisi OR da lo stesso risultato di un VAN che prevede l’espansione.

³Essendo ad incertezza nulla, non ha senso parlare di valore massimo o minimo per cui conviene o no espandere sempre l’autoconsumo, esiste solo il valore massimo.

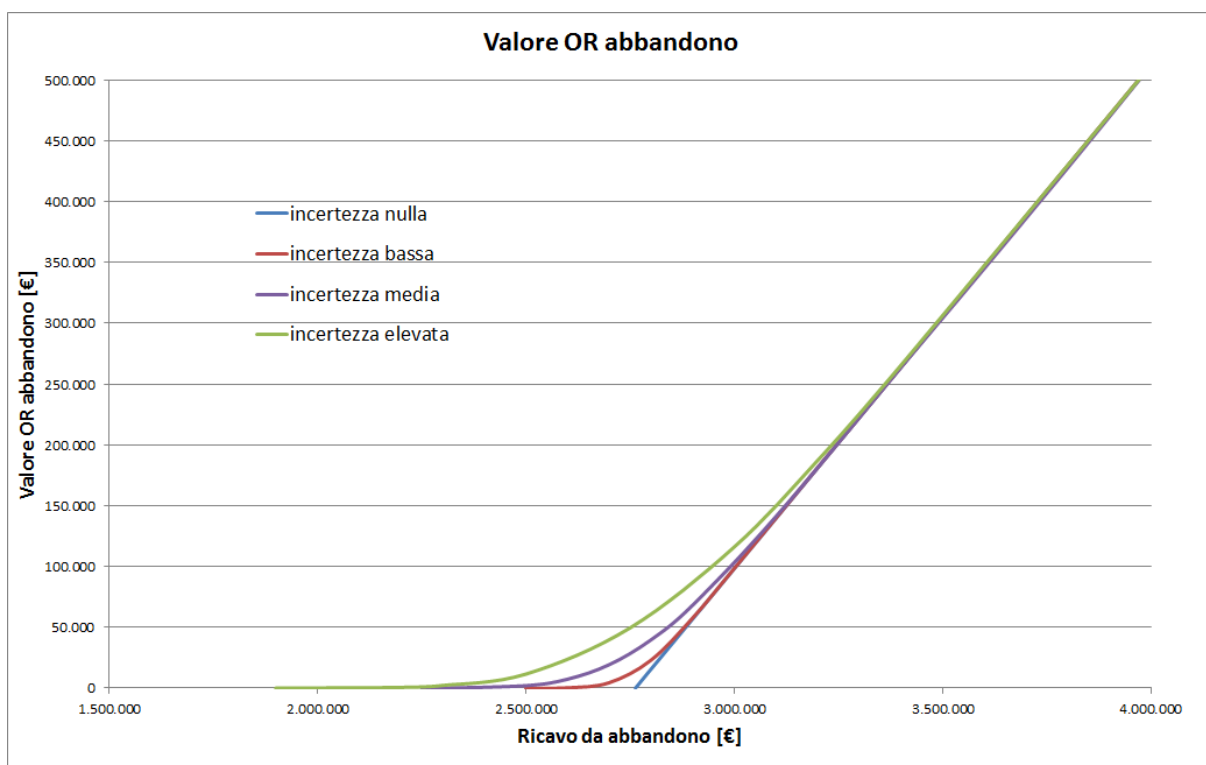


Figura 5.2: Valore OR abbandono

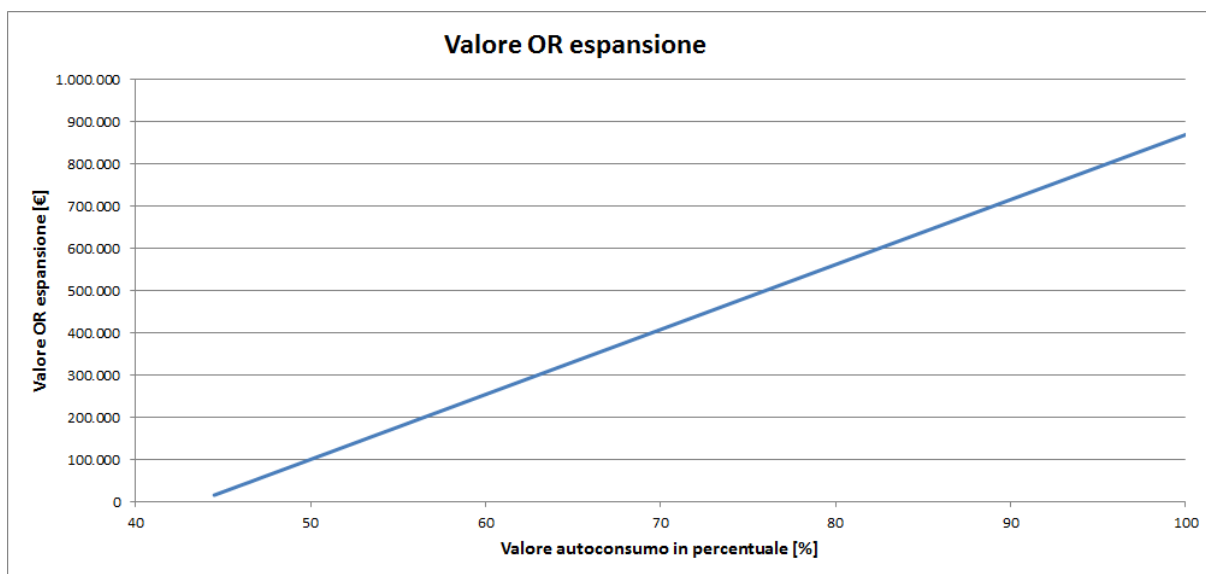


Figura 5.3: Valore OR espandere

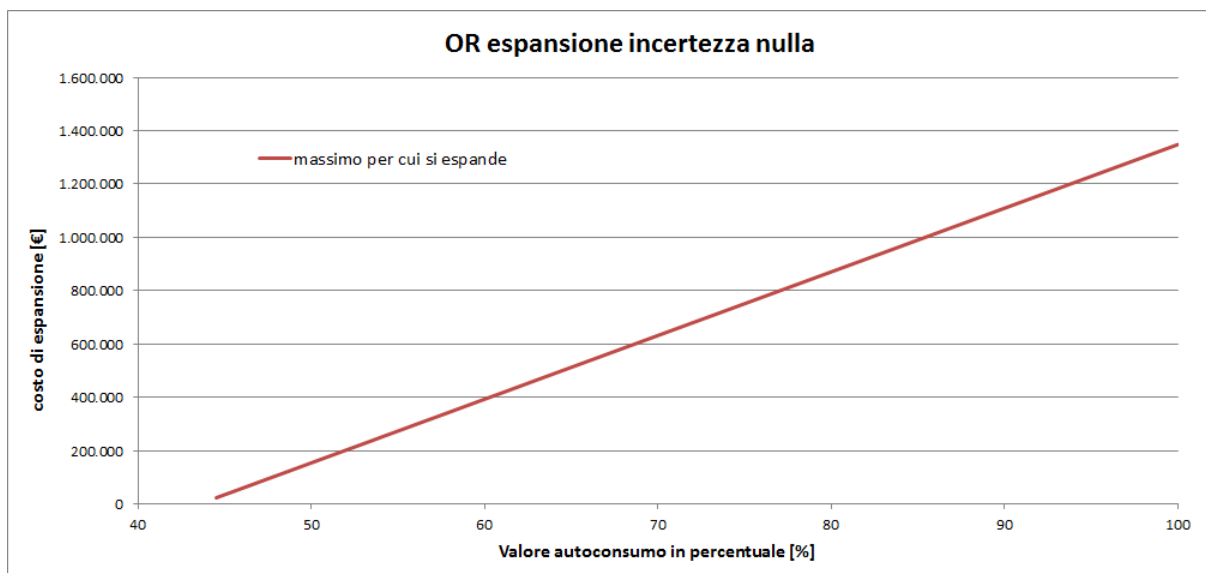


Figura 5.4: OR espansione ad incertezza nulla

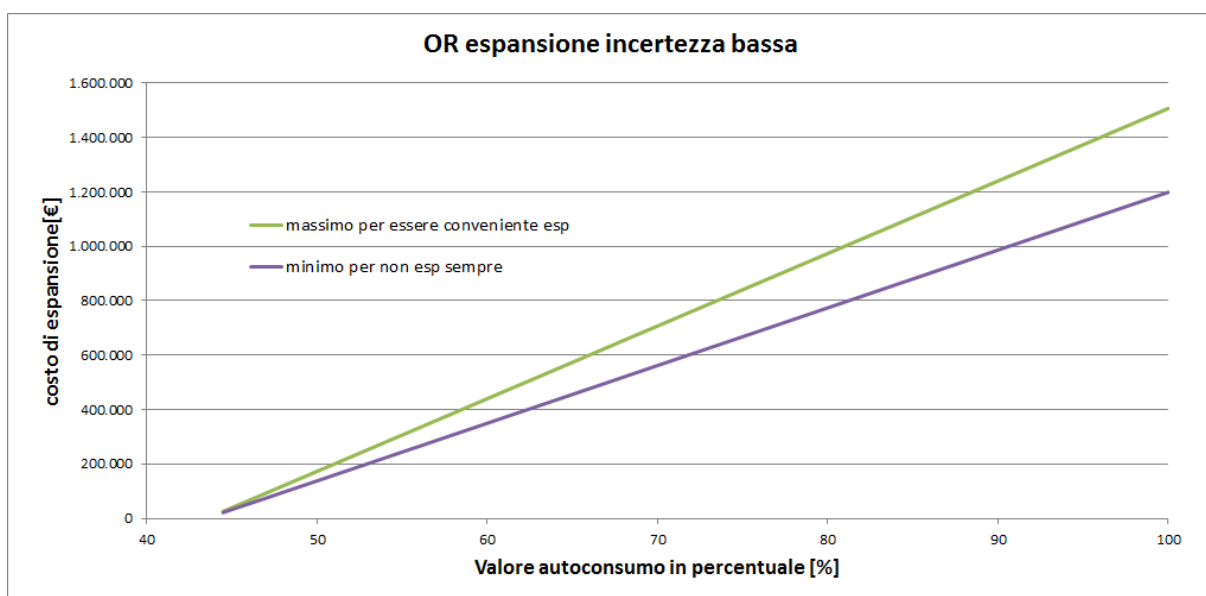


Figura 5.5: OR espansione ad incertezza bassa

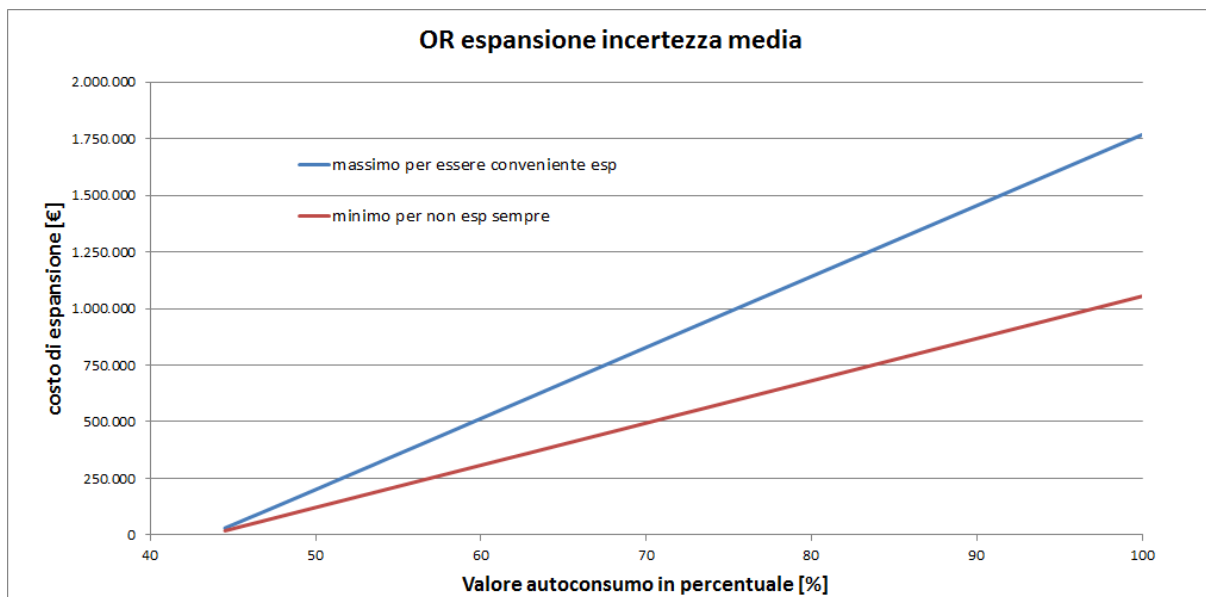


Figura 5.6: OR espansione ad incertezza media

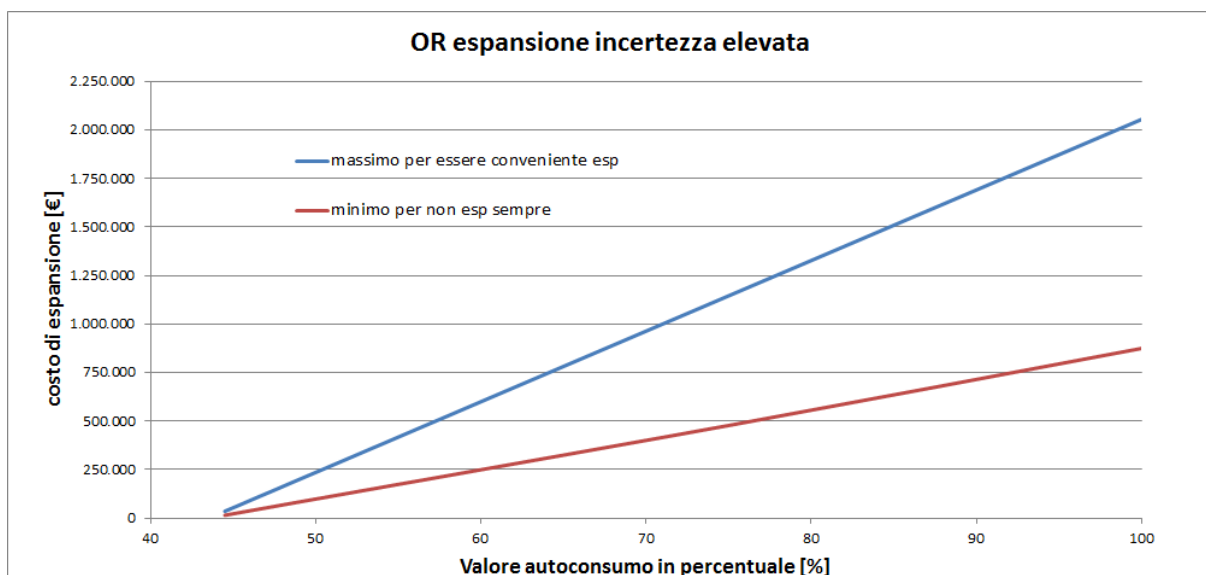


Figura 5.7: OR espansione incertezza elevata

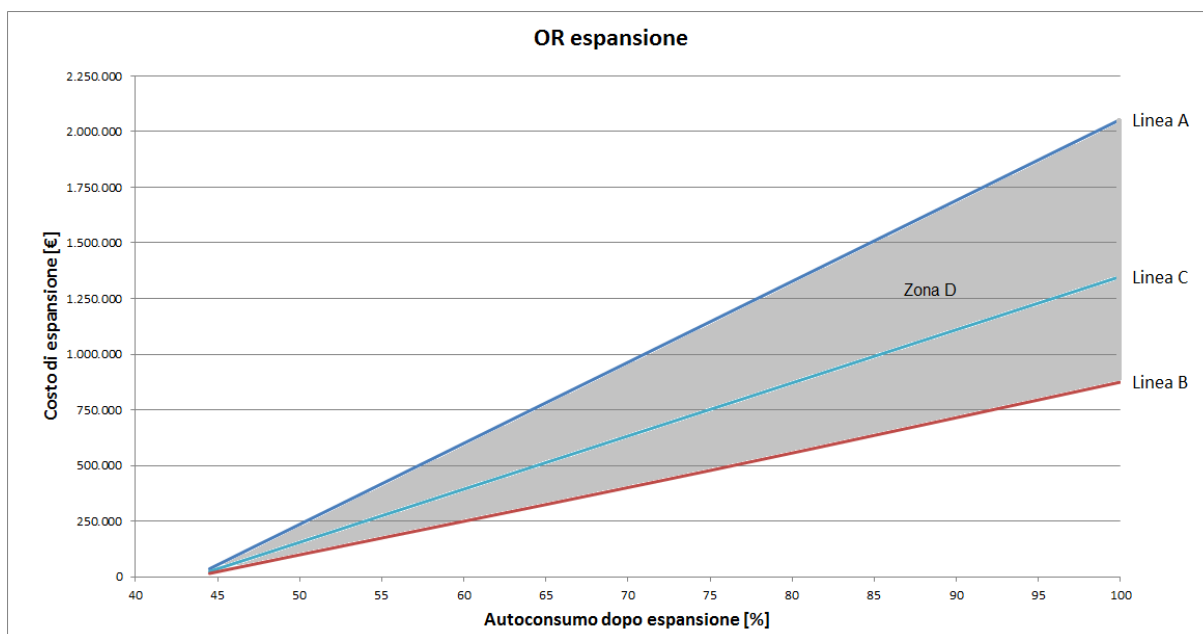


Figura 5.8: OR espansione

VAN	15.795€	valore calcolato tramite VAN
VA_{OR}	40.694€	valore totale dell'investimento tramite analisi OR
OR	24.854€	valore della sola OR espansione ($VA_{OR} - VAN$)
VAN_{esp}	-2.142€	valore calcolato tramite VAN imponendo l'espansione

Tabella 5.2: Dati OR espansione punto A

come limite massimo per cui si potrà o meno espandere l'autoconsumo (linea C della figura 5.8 che equivale all'andamento OR privo di incertezza, figura 5.4). Sopra tale valore l'espansione non sarà conveniente e sotto tale valore sarà sempre conveniente.

L'OR di espansione invece, considerando anzichè un unico valore futuro dell'elettricità un range di valori legati ognuno ad una determinata probabilità, permette l'individuazione di un valore massimo di costo per espandere (linea A figura 5.8), di un range di valori per cui l'espansione potrà o meno risultare conveniente (zona D figura 5.8) e di un costo sotto il quale risulterà sempre conveniente espandere l'autoconsumo (linea B figura 5.8).

Tale range, come dimostrato, ha un'ampiezza proporzionale all'incertezza e ne segue l'andamento (figure 5.9).

L'utilizzo delle OR permette perciò la considerazione di quelle situazioni future meno probabili, ma non impossibili, che il VAN (cioè l'assenza di incertezza) esclude per principio (si passa dalla linea C all'area triangolare D).

Ad esempio, l'opzione che a fronte di un costo di 1.000.000€ permette il raggiungimento di un valore di autoconsumo del 75% (punto A figura 5.9), utilizzando incertezza nulla non verrebbe considerata economica e verrebbe scartata. L'introduzione dell'incertezza sul futuro del valore dell'energia dimostra invece come tale opzione sia da considerare economicamente positiva. Come mostrato nell'albero binomiale delle scelte (figura 5.10) se il valore dell'elettricità giungerà ai valori previsti nei nodi più alti dell'albero, il costo di espansione di 1.000.000€ verrà completamente ripagato dall'aumento di ricavo legato al crescere dell'autoconsumo (la scelta sarà di espandere) e tale possibilità, pesata con la relativa probabilità, aumenta il valore dell'investimento, rendendo l'OR espansione positiva economicamente (tabella 5.2).

L'andamento del valore dell'OR in relazione al variare del costo necessario è calcolato in base ad ogni specifico valore di autoconsumo raggiunto tramite espansione (figure 5.11, 5.12 e 5.13).

5.6.3 OR contrazione

L'OR contrazione si comporta in maniera equivalente all'opzione di espansione.

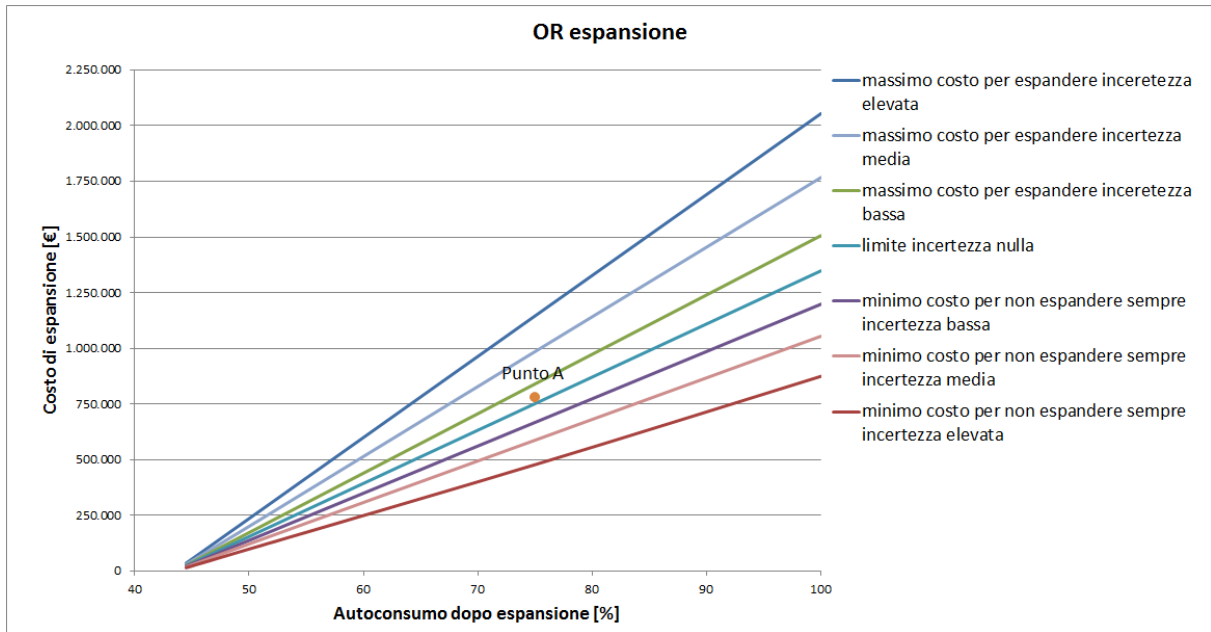


Figura 5.9: OR espansione

VAN		senza espansione										
Anno		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0		15.795	2.637.872	3.270.522	3.812.103	4.270.299	4.652.169	4.320.435	3.994.309	3.673.147	3.356.334	3.043.273
1		-	2.289.920	2.940.571	3.500.090	3.976.179	4.375.910	4.062.024	3.753.749	3.450.459	3.151.556	2.856.460
2		-	-	2.633.920	3.210.111	3.702.827	4.119.159	3.821.861	3.530.176	3.243.497	2.961.238	2.682.838
3		-	-	-	2.940.608	3.448.779	3.880.538	3.598.657	3.322.392	3.051.149	2.784.360	2.521.477
4		-	-	-	-	3.212.671	3.658.769	3.391.215	3.129.280	2.872.384	2.619.972	2.371.511
5		-	-	-	-	-	3.452.659	3.198.421	2.949.805	2.706.243	2.467.192	2.232.135
6		-	-	-	-	-	-	3.019.242	2.783.004	2.551.834	2.325.201	2.102.600
7		-	-	-	-	-	-	-	2.627.982	2.408.328	2.193.237	1.982.213
8		-	-	-	-	-	-	-	-	2.274.957	2.070.592	1.870.328
9		-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.956.608	1.766.343
10		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.669.701

VAN caso espansione		Anno con espansione										
Anno		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	-	2.142	2.652.112	3.318.203	3.894.538	4.388.853	4.808.260	4.515.537	4.229.953	4.368.584	4.006.989	3.646.593
1			2.244.019	2.925.749	3.517.568	4.027.225	4.461.842	4.184.212	3.913.617	4.075.749	3.737.706	3.400.933
2				2.561.008	3.167.218	3.691.133	4.139.887	3.876.284	3.619.619	3.803.593	3.487.438	3.172.621
3					2.841.609	3.378.774	3.840.667	3.590.101	3.346.382	3.550.656	3.254.843	2.960.431
4						3.088.473	3.562.576	3.324.127	3.092.440	3.315.580	3.038.673	2.763.225
5							3.304.124	3.076.935	2.856.431	3.097.104	2.837.768	2.579.946
6								2.847.199	2.637.087	2.894.056	2.651.050	2.409.608
7									2.433.233	2.705.347	2.477.517	2.251.299
8										2.529.963	2.316.239	2.104.170
9											2.166.349	1.967.430
10												1.840.346
11												

OR												
Anno		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0		40.649	2.676.746	3.329.315	3.897.557	4.388.853	4.808.260	4.515.537	4.229.953	espendere		
1			2.302.591	2.962.133	3.535.713	4.032.867	4.461.842	4.184.212	3.913.617	espendere		
2				2.638.863	3.219.453	3.720.144	4.150.432	3.876.284	3.619.619	espendere		
3					2.941.730	3.451.191	3.885.725	3.609.812	3.346.382	espendere		
4						3.212.671	3.658.769	3.391.215	3.129.280	non espandere		
5							3.452.659	3.198.421	2.949.805	non espandere		
6								3.019.242	2.783.004	non espandere		
7									2.627.982	non espandere		

Figura 5.10: Alberi binomiali OR espansione

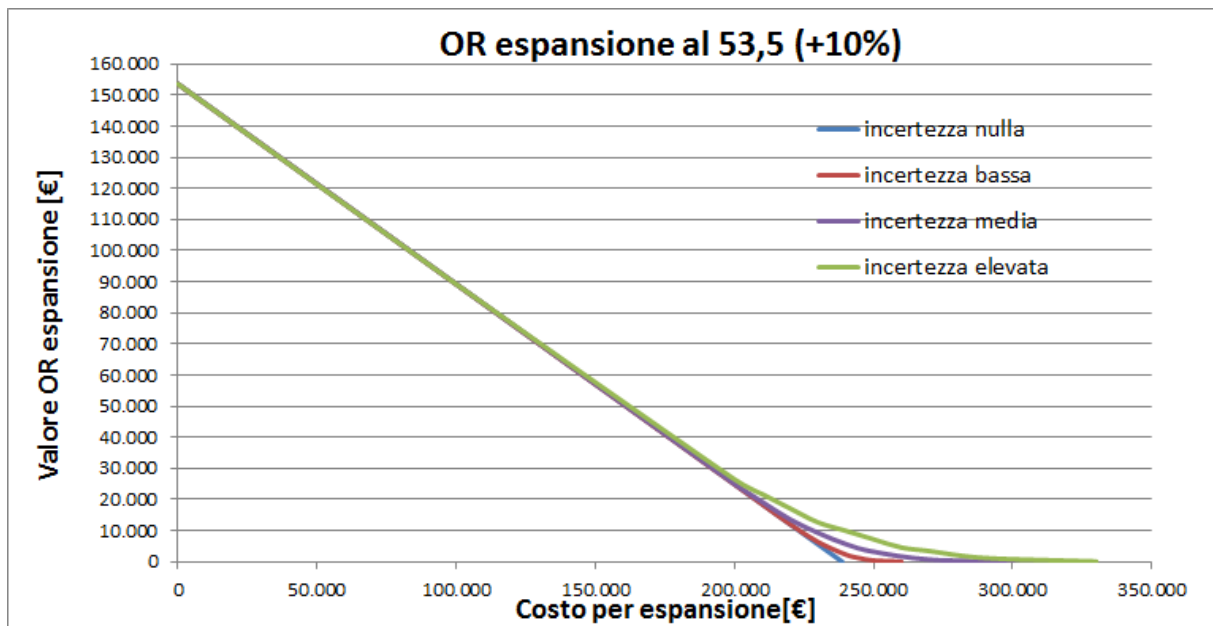


Figura 5.11: OR espansione al 53,5% (+10%)

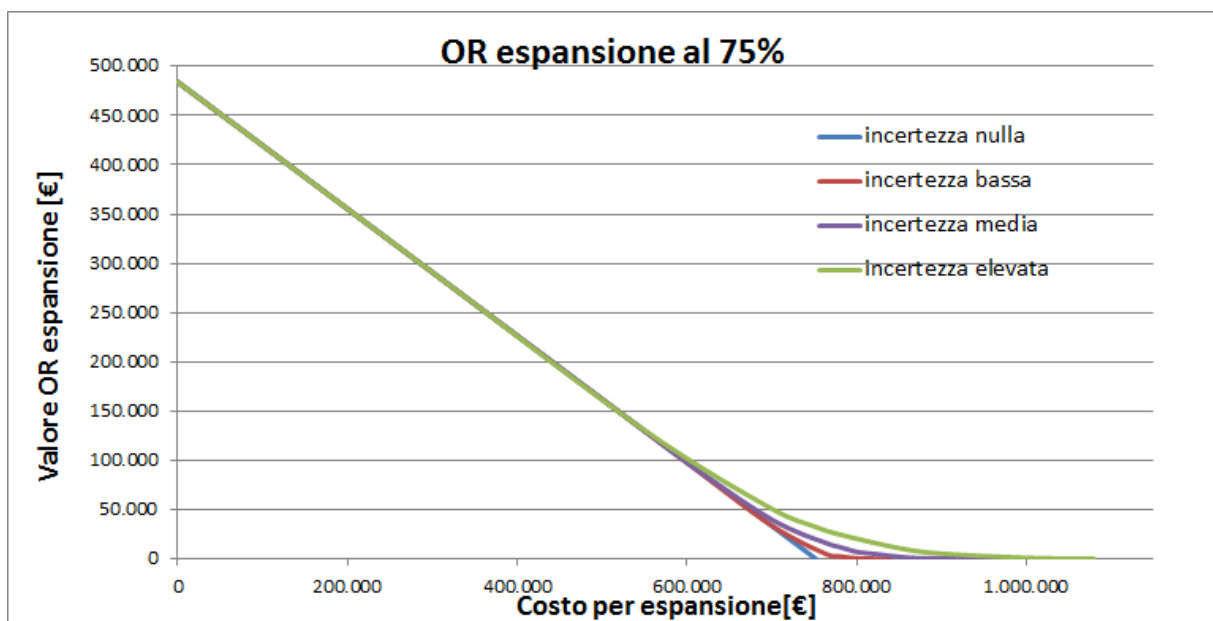


Figura 5.12: OR espansione al 75%

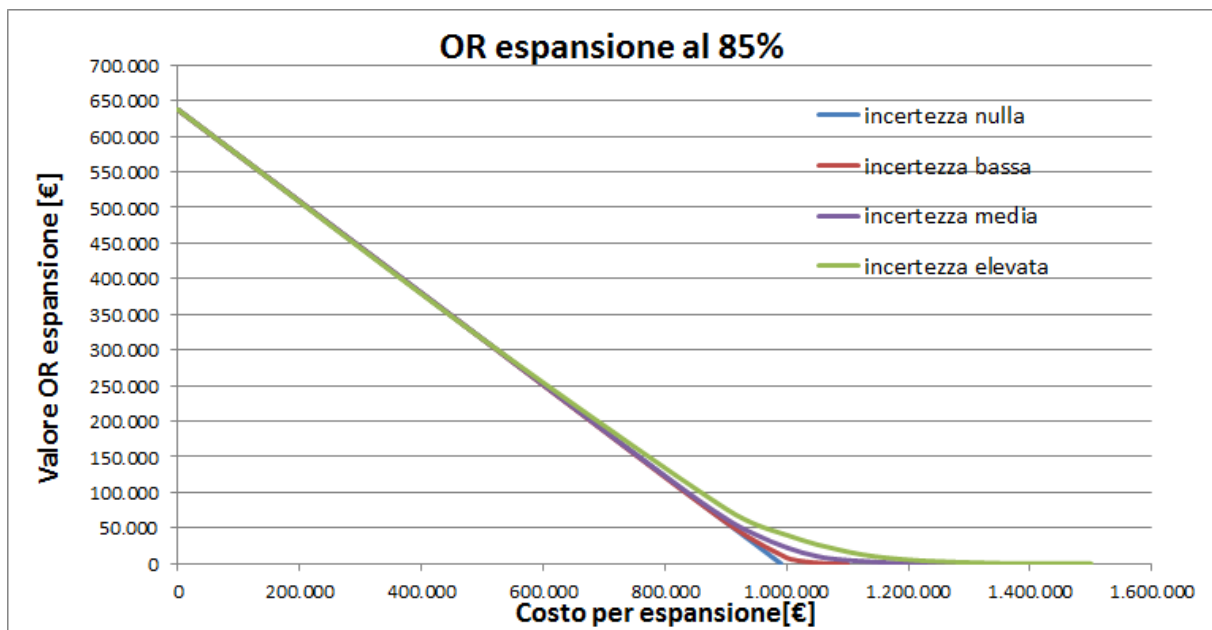


Figura 5.13: OR espansione al 85%

Si utilizzano gli stessi dati dell'esempio precedente (capitolo 5.6.1) e le stesse quattro configurazioni di incertezza (tabella 5.1). Si introduce la possibilità di contrarre l'autoconsumo all'ottavo anno di funzionamento dell'impianto a fronte di un ricavo monetario (come descritto nel capitolo 3.5.1).

Al diminuire del valore di autoconsumo si determina il calo di valore dell'investimento a ricavo nullo (figura 5.14).

Introducendo l'incertezza sul valore futuro dell'elettricità, al calare della quota di autoconsumo si determinano il ricavo minimo per contrarre e il ricavo massimo per cui conviene comunque considerare l'opzione di non contrarre l'autoconsumo⁴ (figure 5.15⁵, 5.16, 5.17 e 5.18).

L'Opzione Reale contrazione permette di determinare tutte le possibili combinazioni di ricavo e relativa diminuzione del valore di autoconsumo che accrescono il valore dell'investimento. Basandoci sul grafico delle possibili combinazioni ricavo-autoconsumo raggiunto (utilizzato nelle figure 5.15, 5.16, 5.17 e 5.18), il VAN identifica un ricavo unico come limite minimo per cui si potrà o meno contrarre l'autoconsumo (linea C della figura 5.19 che equivale all'andamento OR privo di incertezza, figura 5.15). Sotto tale valore la contrazione non sarà conveniente e sopra tale valore sarà sempre conveniente.

L'OR di contrazione invece, considerando anziché un unico valore futuro dell'elettricità un range di valori legati ognuno ad una determinata probabilità permette l'individuazione di un valore minimo di ricavo per contrarre (linea A figura 5.19), un range di valori per cui la contrazione potrà o meno risultare conveniente (zona D figura 5.19) e un ricavo sopra il quale risulterà sempre conveniente contrarre l'autoconsumo (linea B figura 5.19).

Tale range, come dimostrato, ha un'ampiezza proporzionale all'incertezza e ne segue l'andamento (figure 5.20).

L'utilizzo delle OR permette perciò la considerazione di quelle situazioni future meno probabili, ma non impossibili, che il VAN (cioè l'assenza di incertezza) esclude per principio (si passa dalla linea C all'area triangolare D).

Ad esempio, l'opzione che a fronte di un ricavo di 630.000€ permette il raggiungimento di un valore di autoconsumo del 15% (punto A figura 5.20), utilizzando incertezza nulla non verrebbe considerata economica e verrebbe scartata. L'introduzione dell'incertezza sul futuro del valore dell'energia dimostra invece come tale opzione sia da considerare economicamente positiva. Come mostrato nell'albero binomiale delle scelte (figura 5.21) se il valore dell'elettricità giungesse ai valori previsti nei nodi più bassi dell'albero, il ricavo da contrazione di 630.000€ ripagherebbe completamente il mancato risparmio legato alla contrazione dell'autoconsumo (la scelta sarà di contrarre) e tale possibilità, pesata con la relativa probabilità, aumenterebbe il valore dell'investimento, rendendo l'OR contrazione positiva economicamente (tabella 5.3).

⁴Sopra tale valore l'analisi OR dà lo stesso risultato di un VAN che prevede la contrazione.

⁵Essendo ad incertezza nulla non ha senso parlare di valore massimo o minimo per considerare la contrazione, esiste solamente il valore minimo.

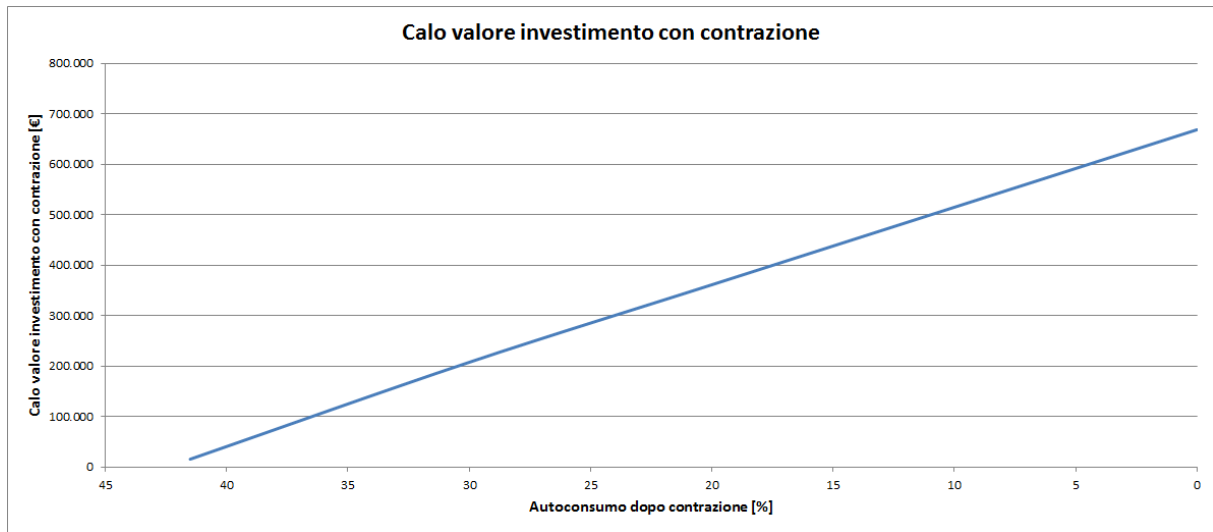


Figura 5.14: Calo valore investimento per la contrazione dell'autoconsumo

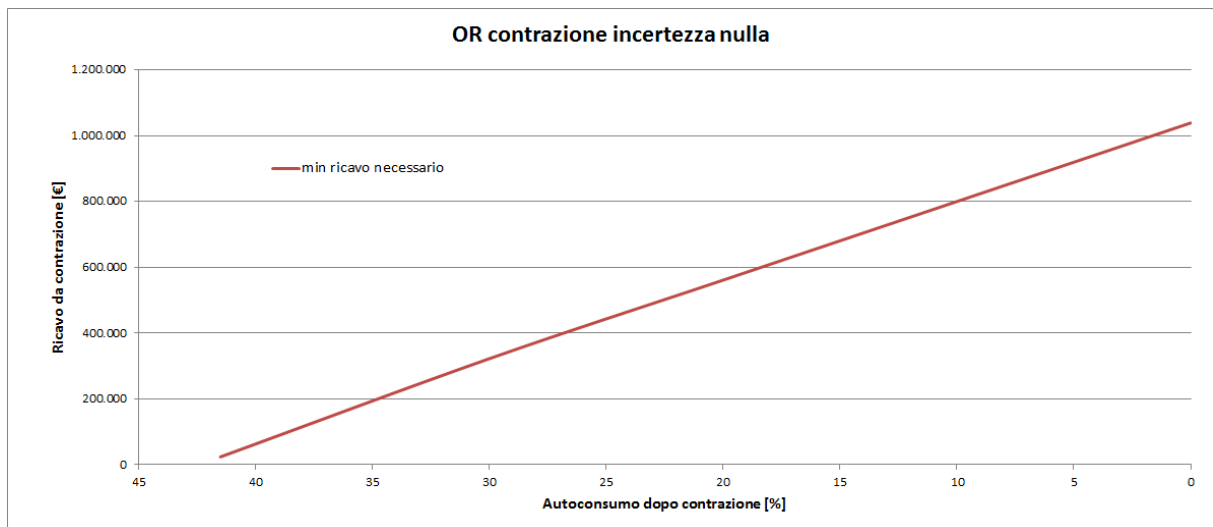


Figura 5.15: OR contrazione incertezza nulla

VAN	15.795€	valore calcolato tramite VAN
VA_{OR}	30.872€	valore totale dell'investimento tramite analisi OR
OR	15.077€	valore della sola OR contrazione ($VA_{OR} - VAN$)
VAN_{contr}	-16.698€	valore calcolato tramite VAN imponendo la contrazione

Tabella 5.3: Dati OR contrazione punto A

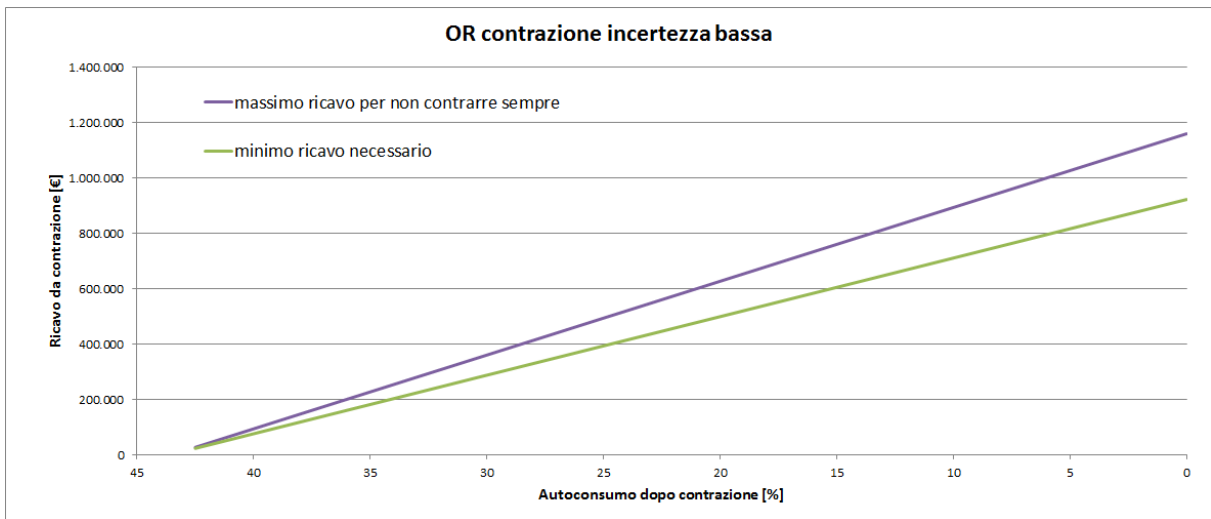


Figura 5.16: OR contrazione incertezza bassa

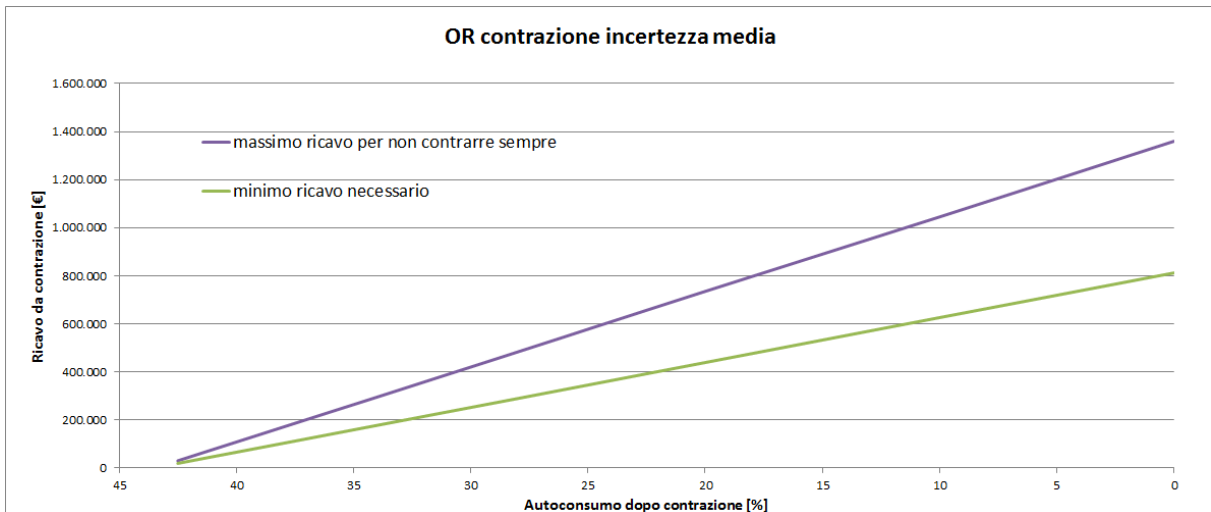


Figura 5.17: OR contrazione incertezza media

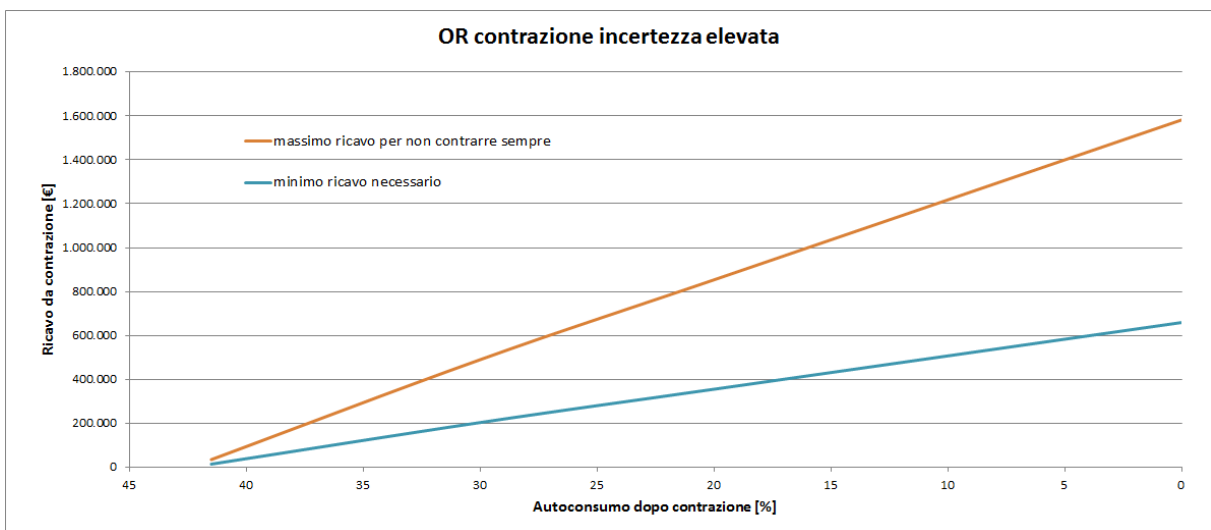


Figura 5.18: OR contrazione incertezza elevata

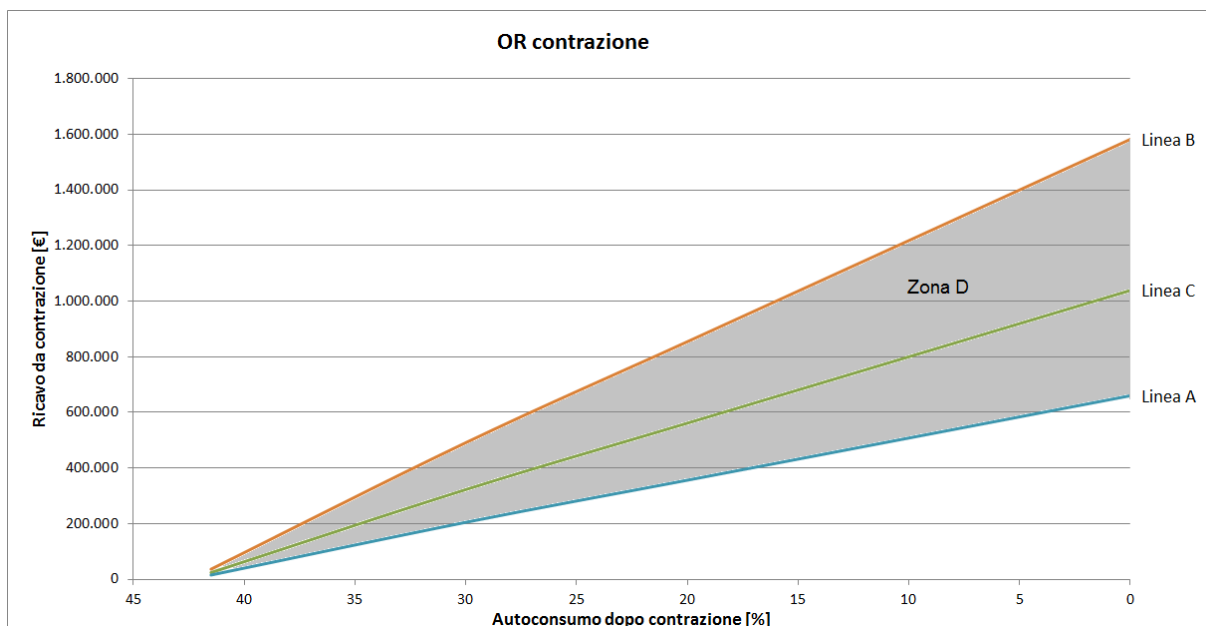


Figura 5.19: OR contrazione

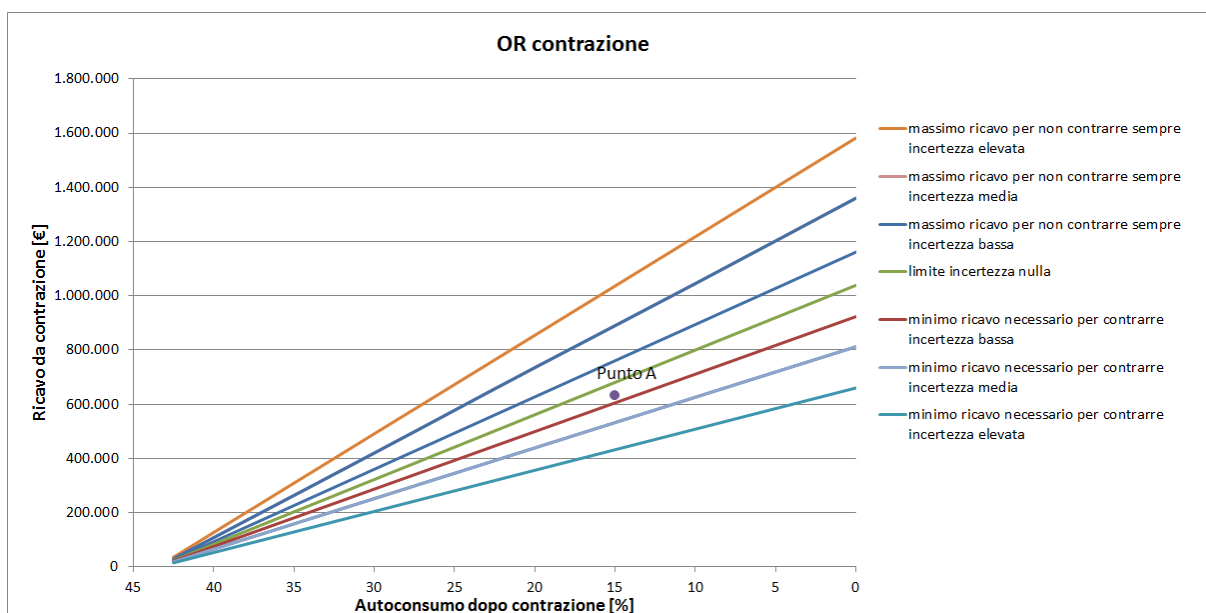


Figura 5.20: OR contrazione

VAN senza contrazione											
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	15.795	2.637.872	3.270.522	3.812.103	4.270.299	4.652.169	4.320.435	3.994.309	3.673.147	3.356.334	3.043.273
1	-	2.289.920	2.940.571	3.500.090	3.976.179	4.375.910	4.062.024	3.753.749	3.450.459	3.151.556	2.856.460
2	-	-	2.633.920	3.210.111	3.702.827	4.119.159	3.821.861	3.530.176	3.243.497	2.961.238	2.682.838
3	-	-	-	2.940.608	3.448.779	3.880.538	3.598.657	3.322.392	3.051.149	2.784.360	2.521.477
4	-	-	-	-	3.212.671	3.658.769	3.391.215	3.129.280	2.872.384	2.619.972	2.371.511
5	-	-	-	-	-	3.452.659	3.198.421	2.949.805	2.706.243	2.467.192	2.232.135
6	-	-	-	-	-	-	3.019.242	2.783.004	2.551.834	2.325.201	2.102.600
7	-	-	-	-	-	-	-	2.627.982	2.408.328	2.193.237	1.982.213
8	-	-	-	-	-	-	-	-	2.274.957	2.070.592	1.870.328
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.956.608	1.766.343
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.669.701
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VAN caso contrazione											
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	16.698	2.576.266	3.178.659	3.688.796	4.114.314	4.462.221	4.095.192	3.732.384	3.043.943	2.767.646	2.497.413
1	-	2.282.728	2.905.259	3.435.555	3.881.271	4.249.439	3.902.750	3.560.384	2.884.721	2.621.229	2.363.841
2	-	-	2.651.165	3.200.196	3.664.686	4.051.682	3.723.898	3.400.529	2.736.743	2.485.152	2.239.702
3	-	-	-	2.981.457	3.463.394	3.867.890	3.557.675	3.251.963	2.599.214	2.358.684	2.124.329
4	-	-	-	-	3.276.317	3.697.077	3.403.190	3.113.889	2.471.397	2.241.147	2.017.103
5	-	-	-	-	-	3.538.326	3.259.615	2.985.564	2.352.606	2.131.910	1.917.449
6	-	-	-	-	-	-	3.126.178	2.866.301	2.242.204	2.030.386	1.824.832
7	-	-	-	-	-	-	-	2.755.460	2.139.597	1.936.032	1.738.755
8	-	-	-	-	-	-	-	-	2.044.237	1.848.341	1.658.757
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.766.842	1.584.408
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.515.309
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR											
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	30.872	2.644.200	3.272.090	3.812.103	4.270.299	4.652.169	4.320.435	3.994.309	non contrarre		
1	-	2.312.601	2.951.035	3.503.021	3.976.179	4.375.910	4.062.024	3.753.749	non contrarre		
2	-	-	2.667.218	3.227.122	3.708.304	4.119.159	3.821.861	3.530.176	non contrarre		
3	-	-	-	2.988.060	3.475.815	3.890.775	3.598.657	3.322.392	non contrarre		
4	-	-	-	-	3.277.864	3.700.405	3.410.347	3.129.280	non contrarre		
5	-	-	-	-	-	3.538.326	3.259.615	2.985.564	contrarre		
6	-	-	-	-	-	-	3.126.178	2.866.301	contrarre		
7	-	-	-	-	-	-	-	2.755.460	contrarre		

Figura 5.21: Alberi binomiali OR contrazione

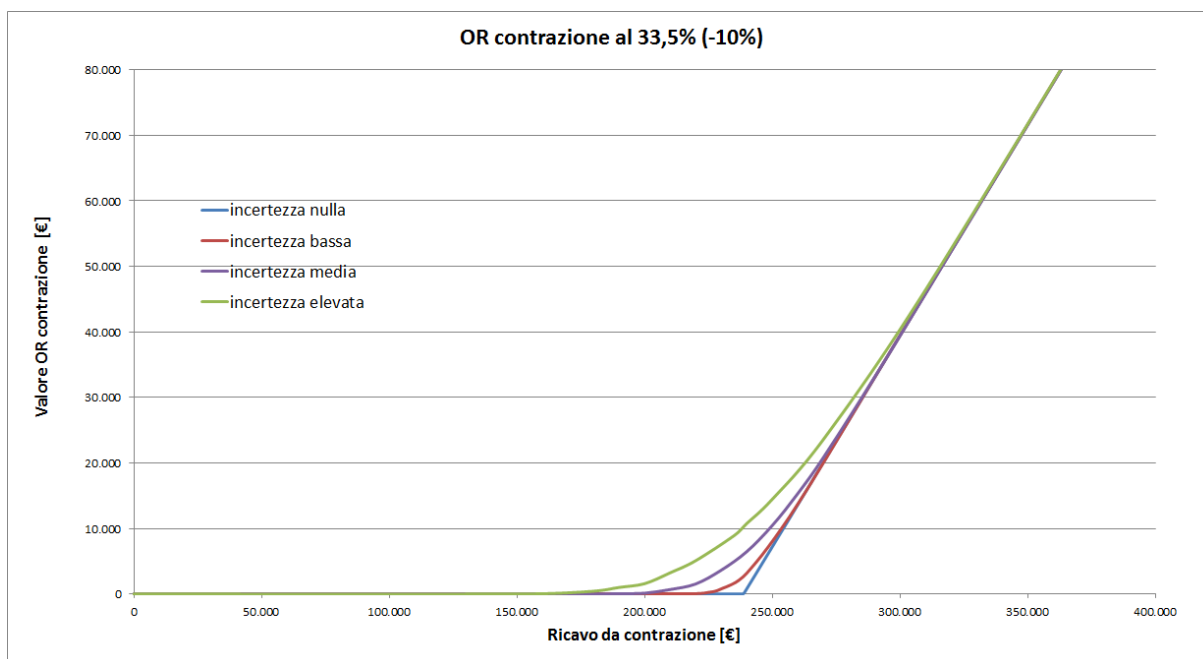


Figura 5.22: OR contrazione al 33,5% (-10%)

L'andamento del valore dell'OR in relazione al variare del ricavo necessario è calcolato in base ad ogni specifico valore di autoconsumo raggiunto tramite contrazione (figure 5.22, 5.23 e 5.24).

5.6.4 OR prolungamento

Per evitare di espandere le ipotesi del modello, si introduce l'opzione di prolungare la vita dell'impianto da 15 a 20 anni, a fronte di una spesa ulteriore da effettuare durante il quindicesimo anno. Partendo dagli stessi dati usati negli esempi precedenti (capitolo 5.6.1) si utilizza il VAN a 15 anni ed è fissato un periodo di restituzione del prestito pari a 15 anni e 55,12% come valore di autoconsumo imposto. Per l'incertezza sul valore futuro dell'energia si utilizzano le stesse quattro configurazioni degli esempi precedenti (tabella 5.1). All'aumentare del costo per il prolungamento della vita dell'impianto l'andamento del valore dell'OR è mostrato in figura 5.25.

5.6.5 OR differire

Per valutare l'opzione di differire la realizzazione dell'impianto fotovoltaico si utilizzano gli stessi dati degli esempi precedenti (capitolo 5.6.1), ma si concentra l'intero investimento nel primo anno e si introduce un calo annuo percentuale dei costi di investimento. All'aumento del calo percentuale dei costi di investimento, il valore dell'opzione di differire aumenta come mostrato in figura 5.26.

L'OR differire è caratterizzata, a differenza delle precedenti OR analizzate, da una gestione temporale inversa: l'OR differire si verifica inizialmente nel primo anno e prosegue in ordine cronologico, perché al nascere del suo valore corrisponde, di fatto, la scelta di non realizzare l'investimento nel primo anno. Il progressivo incremento di diminuzione dei costi comporta un maggior guadagno (valore dell'OR differire) legato alla minore spesa necessaria per realizzare l'investimento il secondo anno, fino a che non si arrivi ad un valore tale per cui convenga ritardare di due anni la realizzazione dell'investimento, e così via. Per la natura stessa dell'albero binomiale i primi anni sono caratterizzati da pochi nodi (possibilità) e quindi si osserva una diversa incidenza dell'incertezza. Per osservare una variazione del valore consistente si deve considerare un'incertezza elevata e l'aumento di valore rimane costante al variare del calo dei costi. L'introduzione dell'incertezza, nei limiti dei valori realistici, non incide sul valore per cui è conveniente non investire il primo anno, ma ha ricadute solamente sulla scelta di ritardare l'investimento negli anni successivi.

L'OR differire è trattata osservando l'evolversi dell'albero binomiale delle scelte (tabella 5.4) al diminuire del costo dell'investimento nel tempo. Si individua così, per ogni nodo dell'albero, il valore di calo percentuale

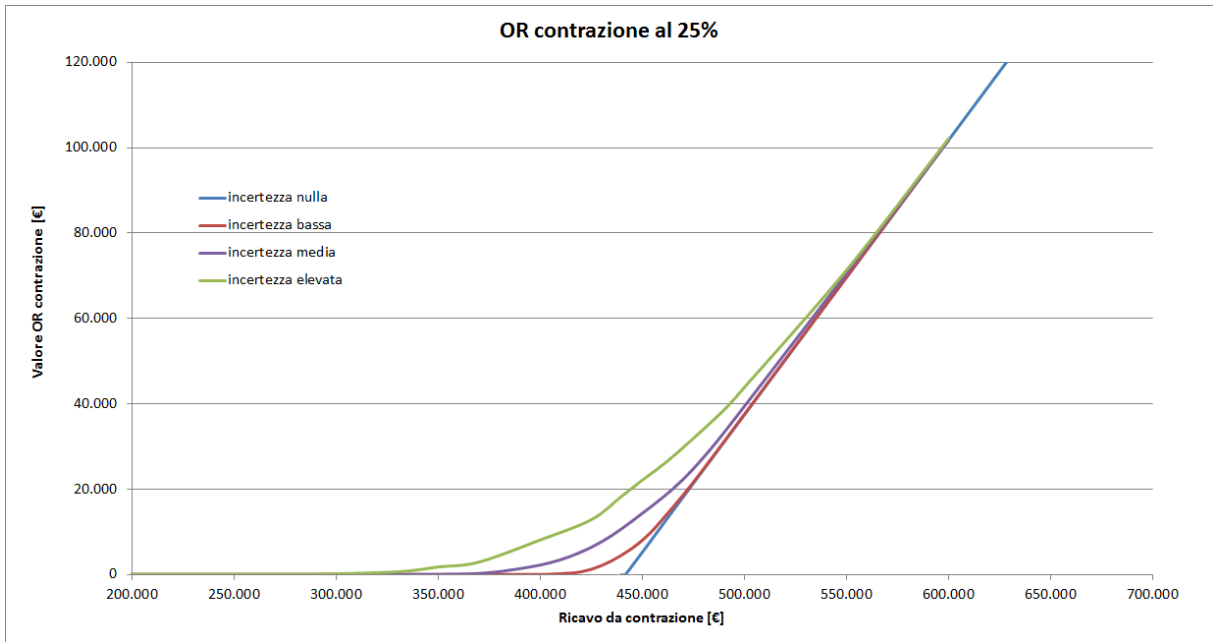


Figura 5.23: OR contrazione al 25%

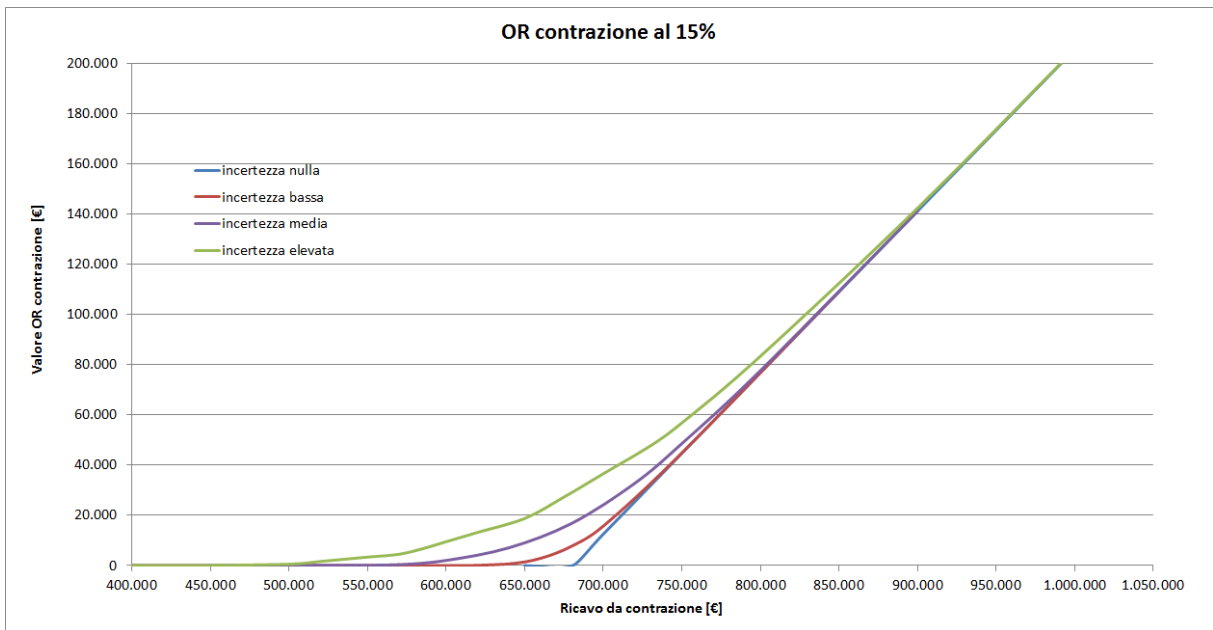


Figura 5.24: OR contrazione al 15%

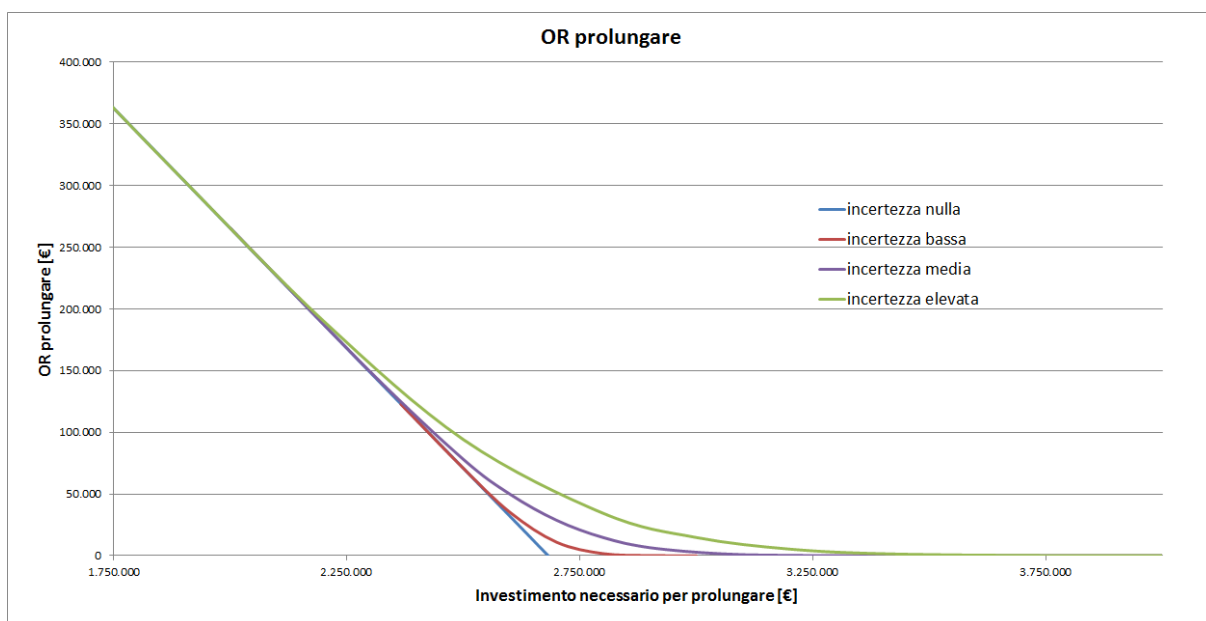


Figura 5.25: OR di prolungamento

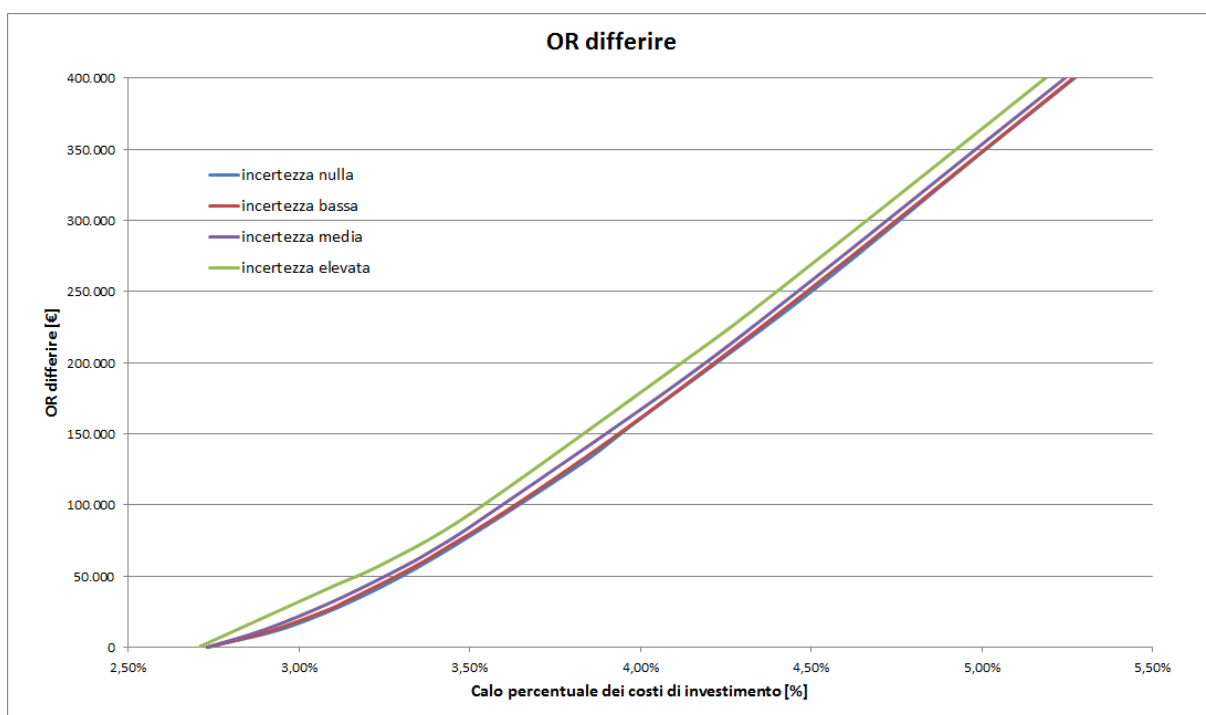


Figura 5.26: OR differire

OR differire				
Anno	1°	2°	3°	4°
Nodo albero	a	b	d	g
		c	e	h
			f	i
				l

Tabella 5.4: Albero binomiale delle scelte

dei costi per cui è economico ritardare la realizzazione dell'impianto oltre tale nodo, e nell'albero sottostante è riportato il relativo valore dell'OR differire (tabelle 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8).

Si dimostra come all'aumento dell'incertezza e del calo dei costi non si sia più in presenza di un solo anno ideale per la realizzazione, ma questo dipenda sempre più dal valore futuro dell'energia raggiunto. In altre parole con incertezza e elevato calo dei costi, per un determinato valore di calo ipotizzato, si hanno più possibili anni in cui investendo si massimizza il ritorno economico.

Incertezza nulla				
Calo costi	2,73%	3,00%	3,34%	3,80%
		3,00%	3,34%	3,80%
			3,34%	3,80%
				3,80%
OR differire	115	17.094	55.341	124.824
		17.094	55.341	124.824
			55.341	124.824
				124.824

Tabella 5.5: Alberi OR differire incertezze nulla

Incertezza bassa				
Calo costi	2,73%	3,08%	3,53%	4,17%
		2,91%	3,33%	3,92%
			3,14%	3,68%
				3,45%
OR differire	115	26.018	84.396	191.667
		18.182	55.810	147.440
			32.733	107.642
				72.780

Tabella 5.6: Alberi OR differire incertezza bassa

Incertezza media				
Calo costi	2,73%	3,20%	3,84%	4,76%
		2,83%	3,38%	4,16%
			2,95%	3,61%
				3,11%
OR differire	115	43.101	138.896	307.027
		6.389	66.593	194.826
			17.151	101.279
				33.462

Tabella 5.7: Alberi OR differire incertezza media

Incertezza elevata				
Calo costi	2,71%	3,33%	4,15%	5,41%
		2,71%	3,37%	4,34%
			2,71%	3,43%
				2,71%
OR differire	754	67.940	205.088	443.324
		754	73.204	239.044
			754	82.327
				754

Tabella 5.8: Alberi OR differire incertezza elevata

Parte III

CONCLUSIONI

Capitolo 6

CONCLUSIONI

Il programma e gli esempi esposti nei capitoli precedenti non bastano per descrivere e caratterizzare gli impianti fotovoltaici nel complesso e definire in maniera assoluta i limiti entro i quali considerare positivo, a priori, l'investimento nel fotovoltaico. Per farlo sarebbe necessario sviluppare un programma differente, utilizzando un software adeguato (es Matlab) che, partendo da determinati valori estremi di costo dell'impianto e di valore dell'elettricità, fornisca in automatico i margini entro i quali si possa considerare economico un generico investimento, considerando diverse taglie e zone geografiche di installazione.

Tramite gli esempi proposti è comunque dimostrato che i concetti esposti nella prima parte e la procedura matematica siano corretti e si dimostra come l'analisi tramite OR sia necessaria per definire al meglio un investimento fotovoltaico.

6.1 ANALISI TRAMITE FOGLIO ELETTRONICO DELLE SINGOLE OR

L'analisi eseguibile tramite il foglio di calcolo qui presentato risulta ottimale per un uso molto specifico, ristretto ad un investimento dalle caratteristiche precise permettendo però il calcolo in maniera chiara e realistica del valore attuale. L'analisi tramite OR, nonostante si basi sull'introduzione di un'incertezza, evidenzia il bisogno di specificità ancora maggiore rispetto al VAN. L'anno di introduzione dell'opzione è fondamentale, come anche la suddivisione del periodo considerato; perché maggiore è la suddivisione in sotto periodi, maggiore è il numero di nodi che considerano l'opzione e maggiore è la precisione della valutazione.

I calcoli dimostrano come l'utilizzo delle OR per l'analisi economica di un impianto fotovoltaico ha un'applicazione pratica. Le OR espansione e contrazione hanno dimostrato che introducendo l'incertezza nell'analisi, l'opzione di variare il futuro quantitativo di autoconsumo possa far crescere sensibilmente il valore dell'investimento (tabelle 5.2 e 5.3). Stessa cosa si verifica per l'OR di prolungamento e abbandono. L'andamento del valore di tali OR, al variare del corrispettivo economico per il quale ogni opzione potrà essere esercitata, può essere suddiviso in tre zone (figura 6.1):

- Zona A: il valore dell'OR è nullo (l'opzione non verrà mai attivata);
- Zona B: il valore dell'OR ha un andamento lineare a pendenza costante con qualunque incertezza considerata (l'opzione verrà sempre attivata);
- Zona C: rappresenta la zona di collegamento fra le due precedenti, in cui l'andamento del valore dell'OR presenta una variazione di pendenza sempre più graduale al crescere dell'incertezza considerata; è in tale zona che l'analisi tramite OR evidenzia i maggiori vantaggi rispetto al VAN.

E' dimostrato come l'analisi tramite OR ha maggior valore in quelle situazioni nell'intorno del valore per cui, ad incertezza nulla, si evidenzia un leggero aumento del ritorno dell'investimento che consideri comunque l'opzione, e in quelle situazioni in cui il VAN risulti circa nullo.

I dati provano che l'investimento in un impianto fotovoltaico in regime di ritiro dedicato e con l'irraggiamento riscontrabile nel nord est italiano ha un valore attuale positivo solamente nel caso in cui sia prevista una quota di autoconsumo superiore al dieci per cento, qualunque sia il costo (valore minimo 1000 €/kWp), il numero di anni

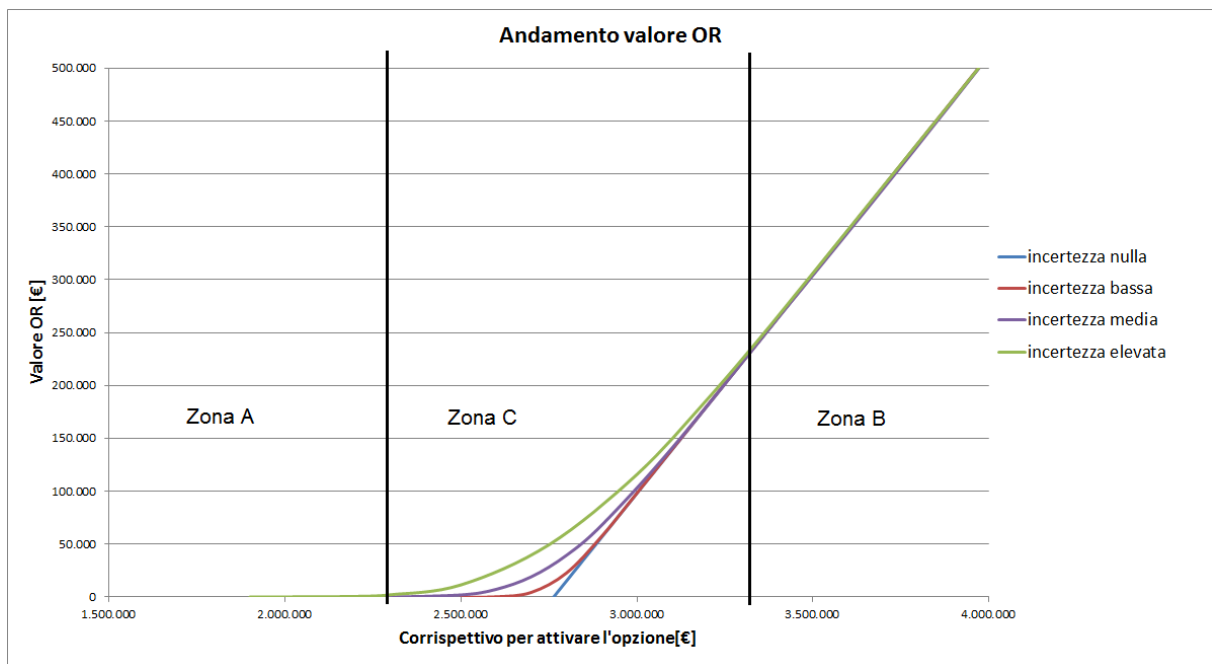


Figura 6.1: Andamento valore OR

trattati (10, 15 o 20) o l'ipotesi di costo futuro dell'energia (da $i_{inf}=1,5/r_{ae}=5,0$ [+3,5] a $i_{inf}=2,0/r_{ae}=0$ [-2]) (dati capitolo 4.3). Risulta quindi fondamentale la necessità di sviluppare l'investimento fotovoltaico in un'ottica di autoproduzione e l'opzione di variare la quota di autoconsumo nel tempo è estremamente remunerativa. L'analisi con Opzioni Reali dimostra come anche piccole variazioni risultino incisive. Le OR di espansione e contrazione presentano un valore estremamente considerevole già con un $\pm 10\%$ di autoconsumo. Ad esempio nel caso di OR espansione con incertezza elevata (punto A tabella 5.2) si determina un valore attuale comprensivo di OR di 40.694€ a confronto di un VAN di soli 15.795€ (il valore dell'OR è circa il doppio del VAN).

Ogni risultato tramite OR è dimostrato come sia fortemente legato al corrispettivo economico necessario per attivare l'opzione considerata e per tale motivo l'OR d'abbandono si palesa essere la meno utilizzabile per gli impianti fotovoltaici qui analizzati, in quanto si deve prevedere un ricavo dall'abbandono dopo 15 anni di minimo 2.250.000€ (investimento totale iniziale di 6.300.000€).

L'OR prolungamento invece è un valido compromesso fra l'esigenza di considerare in maniera cautelativa un più ristretto numero di anni di vita e la valutazione di un periodo di vita adeguato alla natura dell'investimento. Si può considerare un periodo di vita ristretto per le normali analisi e, nel caso di risultati non incoraggianti, si può ipotizzare un prolungamento e valutare i benefici che questo comporta.

Comunque, per tutte le Opzioni Reali trattate, è dimostrato come il calcolo tramite OR qui proposto sia più corretto del tradizionale VAN, che sistematicamente le sottovaluta.

Discorso specifico va svolto per l'OR differire. La sua utilità sta nell'individuare il ritorno economico della scelta di differire l'investimento, e i dati dimostrano come tale metodologia permetta ottimamente di individuare il valore percentuale di diminuzione dei costi di installazione per cui convenga ritardare l'investimento. Inoltre permette di calcolare il corretto guadagno derivante da tale opportunità e quindi di definire in maniera adeguata le spese attuali sostenibili per ritardare la realizzazione di un impianto fotovoltaico.

L'opportunità di avere una netta suddivisione fra calcolo tradizionale (VAN, IRR, PB, risparmio totale, LCOE...) e metodologie OR permette di possedere un quadro dell'investimento più ampio e completo. L'obiettivo di valutare sia l'investimento base sia le possibili variazioni future è pienamente raggiunto tramite l'utilizzo di tale foglio o del solo procedimento qui esposto.

In presenza di un investimento, che nella trattazione base da risultati limite (VAN circa nullo), le OR possono fornire interessanti considerazioni per individuare cosa dovrebbe accadere per rendere economico l'investimento, permettendo al manager incaricato della scelta di investire o meno di poter decidere sulla base di un'analisi completa e più dettagliata.

Si evidenzia come tale impostazione di indagine aiuti a ricercare le possibili variazioni che rendono migliore

l'investimento. Conoscendo in maniera precisa il valore di un eventuale aumento di autoconsumo (o di durata di vita dell'impianto) si è spinti ad analizzare con maggior attenzione i propri consumi. La possibilità di concentrare l'utilizzo di energia elettrica nelle ore di produzione ha un'importante ricaduta sull'economicità di un impianto fotovoltaico, invogliando maggiormente un manager che ha realizzato un'analisi tramite OR a realizzarla. L'investimento è quindi più attraente e, come già esposto nel capitolo iniziale, ciò è legato alle caratteristiche di versatilità intrinseche all'uso della tecnologia fotovoltaica.

Con l'attuale condizione del settore italiano del fotovoltaico, come da capitolo 2 a cui si rinvia, è penalizzante non considerare la possibilità di variare la quota di autoconsumo dell'impianto oppure non tener conto delle circostanze che vede, a fronte di una determinata spesa, il possibile prolungamento della vita dell'investimento. Risulta poi estremamente interessante l'analisi dell'OR differire l'investimento. A "zero incentivi" (come appunto nel caso del ritiro dedicato) è dimostrato come tale opzione sia sicuramente redditizia (basta un calo del 2,73% dei prezzi di installazione per avere un ritorno economico positivo), rendendo il fotovoltaico un settore che, nei prossimi anni, potrà generare ancora molti guadagni. Un'inversione di tendenza rispetto a quanti affermano che il fotovoltaico "a zero incentivi" sia un investimento senza futuro. Si dovrebbe, per confermare tale considerazione, eseguire un'analisi più approfondita delle politiche di sostegno attuali e delle loro prospettive future.

6.2 PROPOSTA DI ANALISI APPROFONDATA TRAMITE OR

L'utilizzo di un foglio di calcolo per la realizzazione di un investimento tramite OR permette di comprendere velocemente i principi su cui si basa tale metodologia e le sue potenzialità, ma implica sicuramente anche delle limitazioni. Dovendo ricavare il valore attuale percorrendo l'albero binomiale in senso inverso, risulta molto macchinoso l'individuazione dei valori al variare del numero di anni di vita dell'investimento. Nell'analisi basata sul VAN si hanno a disposizione, tramite semplice colonna, tutti i valori anno per anno; mentre nel caso OR i dati sono riferiti solamente alla durata di vita impostata inizialmente. Si è poi costretti a fissare stringenti limiti temporali alle opzioni (es: anno di possibile espansione, prolungamento ecc..) e la valutazione di più combinazioni è estremamente lenta e dispendiosa (si devono variare manualmente tutti i valori caso per caso).

Un passo fondamentale per analizzare in maniera adeguata l'investimento nel fotovoltaico è la realizzazione di uno studio approfondito sul valore dell'energia, sul costo dell'impianto e sullo stato attuale e futuro delle politiche d'incentivazione. Realizzate queste analisi, è importante simulare il maggior numero di scenari possibili, combinando in maniera diversa le varie opzioni e identificando con più accuratezza l'incertezza legata all'investimento nel fotovoltaico. Solo a monte di tale studio si devono aggiungere le Opzioni Reali, ottenendo una valutazione dell'investimento esaustiva e completa.

La realizzazione di un'analisi tramite OR di un investimento necessita perciò dello sviluppo di un software più versatile che inizialmente permetta la realizzazione di molteplici scenari possibili e, in un secondo momento, introduca le varie Opzioni Reali individuando automaticamente i limiti entro cui esse risultino positive economicamente (si veda tabella 6.1).

Uno studio così svolto appartiene sicuramente ad un livello superiore rispetto all'analisi tradizionale ma si basa sulle stesse solide fondamenta. I moderni strumenti informatici rendono la realizzazione di un programma con tali capacità realizzabile da un qualunque programmatore. Non si deve infatti conoscere la matematica avanzata ma semplicemente saper gestire cicli, matrici, l'analisi tramite scelte multiple e la suddivisione del problema in sotto-programmi.

Per investimenti economici minori è più che sufficiente l'analisi tramite il foglio di calcolo presentato e comunque il suo utilizzo permette un'analisi iniziale adeguata per determinare se proseguire o meno nello studio della fattibilità dell'impianto, mostrando ai manager in maniera chiara le basi sulle quali si fonda l'analisi OR.

Un manager che ha compreso il meccanismo alla base delle OR è anche meglio disposto ad accettare come veritieri dei risultati scaturiti da uno strumento di cui non conosce nello specifico ogni passaggio. Viene così superato uno dei problemi attuali per cui l'analisi OR è spesso non considerata: l'accusa di essere una scatola oscura (black box). Se si presentano ad un possibile investitore dei risultati ricavati tramite un software avanzato quale è considerato Matlab, difficilmente si riuscirà a spiegare il funzionamento delle OR, mentre l'utilizzo, anche solo in una fase di contrattazione iniziale, di uno strumento largamente conosciuto come Excel, può facilitare notevolmente la comprensione dell'analisi svolta tramite OR.

Passo I	Analisi delle incertezze dell'investimento	Valutazione dello storico e delle previsioni future sull'andamento del valore dell'energia elettrica in base al tipo di utenza; analisi dello storico e delle previsioni future del costo di installazione degli impianti fotovoltaici, pesando la taglia e lo Stato di installazione; valutazione dello storico e delle prospettive future degli incentivi alla produzione di energia da fotovoltaico; analisi dei propri consumi e della produzione di energia da fotovoltaico in base alla zona considerata.
Passo II	Simulazione del maggior numero possibile di scenari realizzabili	Combinazione tramite software adeguato di tutti i possibili scenari futuri individuati durante la parte I, assegnando ad ognuno di essi la corretta probabilità in maniera tale da identificare i valori medi più probabili e i margini di incertezza da considerare con maggiore attenzione
Passo III	Analisi tramite i maggiori indici economici tradizionali	Calcolare in base ai valori medi più probabili individuati nel Passo II il VAN e i tradizionali indici economici
Passo IV	Analisi tramite OR	Espandere l'analisi tramite OR introducendo le incertezze individuate nel Passo II

Tabella 6.1: Tabella a passi per analisi approfondita tramite OR

6.3 SVILUPPI E UTILIZZI FUTURI DELLE OR

Come dimostrato dai dati e dai concetti esposti, l'analisi tramite Opzioni Reali rappresenta il futuro dell'analisi degli investimenti e non può più essere tralasciata. Il mondo imprenditoriale deve iniziare ad utilizzarla e, per facilitare ciò, la realtà accademica deve fare la propria parte. In letteratura esistono pochissimi studi sulle OR nel mondo delle rinnovabili e i pochi realizzati convergono principalmente sull'analisi dell'OR di differimento e su fonti di energia diverse dal fotovoltaico, usando nella maggioranza dei casi la matematica avanzata (PDE) o l'analisi tramite metodologie probabilistiche del tipo Monte Carlo. Ciò è ben riassunto nel paper di Martínez Cesena e dei suoi collaboratori [9] da cui è tratta la tabella 6.2.

Un importante aspetto non ben investigato, ma spesso citato, è l'analisi tramite OR delle politiche di sostegno alle fonti rinnovabili [10]. Considerare l'incertezza sul valore futuro dell'energia elettrica o sul costo di installazione degli impianti abbinata all'introduzione di opzioni sull'ammontare degli incentivi può aiutare i legislatori ad individuare sistemi di incentivazione più sostenibili per la comunità. L'utilizzo dell'OR di differimento può far prevedere in maniera adeguata il futuro ritorno economico degli investimenti nel fotovoltaico e può permettere una programmazione degli investimenti più accurata. Ad esempio: si potrebbe definire, a fronte di un calo dei costi previsto, il corretto aumento del valore dell'incentivo che permetta un adeguato ritorno economico anche per gli investimenti che verranno realizzati nei prossimi anni. Si potrebbero poi introdurre direttamente nel testo di legge i corretti valori dell'energia elettrica che, se raggiunti, implicino l'abolizione o la diminuzione dell'incentivo, in quanto si determina come l'investimento sia comunque ripagato.

Tutte le considerazioni riportate sono corrette anche se applicate a investimenti diversi da quello fotovoltaico. Un impianto di produzione da energia eolica presenta simili caratteristiche rispetto ad un impianto fotovoltaico. La trattazione può considerarsi praticamente equivalente, con l'unica differenza dettata dal calcolo dell'energia prodotta (legata alla quantità di vento disponibile, anziché all'irraggiamento) e dal valore dei costi di impianto e degli incentivi. Nell'ambito, invece, delle fonti di energia regolabili (quali gli impianti termoelettrici oppure gli impianti idrici con possibilità di regolazione del flusso d'acqua) le opzioni considerabili e il valore della trattazione tramite OR sono sicuramente maggiori, perché si può introdurre pure la regolazione dell'energia prodotta e l'incertezza sul valore futuro del combustibile (nel caso degli impianti termoelettrici).

Tutti gli investimenti dovrebbero essere analizzati tramite OR e il massimo rendimento si ha quando l'intera visione aziendale risponde alle logiche fino ad ora illustrate. L'introduzione delle Opzioni Reali obbliga ogni componente del processo aziendale ad interrogarsi sulle possibili opzioni considerabili, imponendo un maggior approfondimento da parte di tutti sulle caratteristiche specifiche dell'investimento. L'analisi OR necessita di conoscenze multidisciplinari e una riflessione supportata dall'opinione di esperti di ogni settore interessato. Nel fotovoltaico, per esempio, serve conoscere attentamente sia le caratteristiche finanziarie (tassi di interesse appli-

Summary of real options literature addressing electricity generation projects.

Authors	EGP	Stage	Uncertainty	Tool	Year
Barria and Rudnick	Generic	Plan	Price	Tree	2011
Takashima et al.	Generic	Plan	Price	PDE	2010
Zhou et al.	Generic	Plan	Price	Sim	2007
Martinez and Davalos	Generic	Plan	Price and cost	Sim	2011
Nihat	Generic	Op	Demand	Sim	2011
Nansheng et al.	Generic	Op	Price and cost	PDE	2008
Min and Wang	Generic	Plan and op	Price	Tree	2000
Min and Wang	Generic	Plan and op	Price	Tree	2006
Agusdinata	Generic	Plan	Price and demand	Tree	2005
Botterud et al.	Generic	Plan	Price	Tree	2005
Gahungu and Smeers	Generic	Plan	Price	PDE and sim	2010
Wang et al.	Generic	Plan	Demand	PDE and sim	2006
Liu et al.	Generic	Plan and op	Price, cost and policy	PDE	2011
Correia et al.	Generic	Plan	Several	Tree	2008
Herve-Mignucci	Generic	Plan	Price, cost and policy	Tree	2010
Fleten et al.	Generic	Plan	Price	PDE	2007
Takashima et al.	Thermal and nuclear	Plan and op	Price	PDE	2008
Siqueira	Hydrothermal	Op	Policy	Tree	2011
Takashima et al.	Nuclear	Op	Price	PDE and sim	2007
Cardin et al.	Nuclear	All	Technology	Tree	2010
Hedman and Sheble	Hydro and wind	Op	Wind	PDE and sim	2006
Xian et al.	Hydro	Op	Water and price	Sim	2005
Kjaerland and Larsen	Hydro and thermal	Op	Water and costs	Sim	2009
Bockman et al.	Hydro	Plan	Price	PDE	2008
Wang and de Neufville	Hydro	Plan and des	Price	Tree and sim	2006
Wang and de Neufville	Hydro	Plan and des	Price	Tree and sim	2004
Wang and de Neufville	Hydro	Plan and des	Price	Tree and sim	2005
Martinez and Mutale	Hydro	Plan and des	Price	Tree and sim	2011
Scatasta and Mennel	Wind	Plan	Policy and revenues	PDE	2009
Cheng et al.	Wind	Plan	Price, cost and policy	Tree	2010
Dykes and de Neufville	Wind	Plan and op	Price and policy	Tree	2008
Munoz et al.	Wind	Plan	Price	Tree and sim	2009
Zhou et al.	Wind	Plan	Price	Sim	2007
Fleten and Maribu	Wind	Plan	Price	PDE	2004
Mendez et al.	Wind	Plan and op	Cash flows	Tree and sim	2009
Martinez and Mutale	Wind	Plan and des	Wind	Tree and sim	2012
Hoff et al.	PV	Plan	Price	Tree	2003
Sarkin and Tamarkin	PV	Plan	Tech. and policy	Tree	2008
Ashuri and Kashani	PV	Plan	Technology and price	Tree and sim	2011
Martinez and Mutale	PV	Plan	Technology	Sim	2012
Martinez and Mutale	PV	All	Demand response	Tree and sim	2011

Tabella 6.2: Riepilogo ricerca OR nel mondo delle rinnovabili

cabili, suddivisione del costo dell'investimento...), sia il quadro normativo (incentivi, costo attuale dell'energia..) oltre che le caratteristiche proprie della tecnologia solare (rendimento dei pannelli, costi di installazione e manutenzione...) e le caratteristiche del proprio carico elettrico. Per valutare un aumento di autoconsumo si deve considerare la possibilità di gestire in maniera diversa i carichi elettrici e nel momento in cui si deve decidere, per esempio, la rotazione dei turni e la gestione della catena di produzione, si deve pesare anche all'incidenza di ogni variazione di consumi sul valore di autoconsumo. Ogni scelta aziendale va pesata in un contesto più ampio di possibilità e mancate opzioni che tale singola scelta comporta. Tali valutazioni sono, molte volte, già svolte nelle aziende ma, tramite l'utilizzo delle OR, si hanno strumenti che permettono di meglio valutarne le ricadute economiche e ridurre il tempo ad esse dedicate. L'utilizzo capillare delle OR provoca quindi un sicuro aumento del valore complessivo d'azienda.

Un ulteriore aspetto interessante da sviluppare legato alle OR è la possibilità di introdurre all'interno dell'analisi d'azienda i meccanismi propri dei mercati concorrenziali. Ogni azione produce una reazione nella concorrenza e ogni azione della concorrenza ha una ricaduta sugli investimenti della propria azienda. Ad esempio, nel fotovoltaico, se utilizzando l'OR differire si riconosce come estremamente conveniente ritardare l'investimento, è possibile considerare anche il fatto che non saremo gli unici a realizzare tale ragionamento. Nell'ipotesi in cui fossimo dei leading player del nostro settore ogni nostra azione sarebbe monitorata dalla concorrenza e la scelta di realizzare un impianto fotovoltaico in un mercato emergente per testarne le possibilità potrebbe portare a creare ulteriore interesse rispetto a quel mercato, impedendoci di ottenere lo sviluppo da noi previsto. Ancora, realizzare un impianto per un'importante azienda di un mercato promettente potrebbe rendere più facile la penetrazione dei nostri impianti in tale stato. Le OR (nello specifico le opzioni di opzioni), vista la loro natura, rappresentano il perfetto metodo per poter tener conto di tutte le incertezze esposte e valutarne in maniera rigorosa la ricaduta economica (come dimostrato nel capitolo 3.5.5).

Le OR possano collaborare altresì ai progetti di sviluppo delle nuove tecnologie. Ogni ingegnere nello studio di nuovi materiali o prodotti compie infinite scelte fra più alternative disponibili, le quali sono dotate di parametri caratterizzati a propria volta da incertezza, come il costo futuro del materiale, la versatilità di utilizzo di uno specifico componente ecc eccetera . Si può quindi pensare di introdurre l'analisi tramite OR anche nei progetti di ricerca allo scopo di valutare al meglio ogni scelta da compiere.

Elenco delle figure

1.1	Albero binomiale	8
1.2	Nuovo albero binomiale	8
1.3	Singolo ramo caso a	9
1.4	Singolo ramo caso b	10
1.5	Albero binomiale con espansione nel secondo anno	10
1.6	Albero binomiale OR	11
1.7	Nuovo albero binomiale OR	12
2.1	Schema base di un impianto fotovoltaico	14
2.2	Andamento prezzo del solo pannello FV dal 2010	15
2.3	Previsione costo installazione FV.	16
2.4	Andamento prezzo del prezzo unico nazionale dell'energia elettrica.	16
2.5	Andamento prezzo elettricità nel libero mercato.	17
2.6	Irraggiamento medio orario per mese nel 2011 in Italia.	17
2.7	Irraggiamento solare medio in Italia 1981-2000	18
2.8	Irraggiamento solare in Italia 2011	19
2.9	Grafici andamento installazione del fotovoltaico per singolo Paese europeo.	20
2.10	Grafici andamento produzione totale e da fotovoltaico in Italia.	20
2.11	Andamento capacità da fotovoltaico installata a livello mondiale	21
2.12	Andamento del prezzo dell'energia per un consumatore domestico tipo.	21
2.13	Dettaglio degli oneri A3 in milioni di euro.	22
2.14	Previsione di penetrazione in europa del fotovoltaico.	22
3.1	Albero binomiale	29
3.2	Flusso di cassa	31
3.3	Andamento di flusso	31
3.4	Flusso di cassa base	34
3.5	Albero andamento elettricità	35
3.6	Albero flussi di cassa positivi	36
3.7	Andamento del VA	37
3.8	Nuovo albero OR	37
3.9	Andamento di flusso con OR	38
3.10	Andamento con espansione	39
3.11	Albero OR abbandono	40
3.12	Andamento prezzo dell'impianto	41
3.13	Albero VAN vari nodi non attualizzati	41
3.14	Albero OR con scelte possibili in ogni nodo	42
3.15	Albero valore dell'energia prolungato	42
3.16	Albero flussi prolungato	43
3.17	Albero OR prolungato	44
3.18	Andamento dell'investimento	45
3.19	Andamento valore elettricità	46
3.20	Andamento incertezza di mercato	47
3.21	Andamento quadrinomiale	47
3.22	Andamento dei ricavi	48

3.23	Albero OR	49
4.1	Foglio dati impianto	53
4.2	Foglio dati carico modalità semplice	54
4.3	Foglio dati carico modalità elaborata	55
4.4	Divisione settimanale per fasce orarie	57
4.5	Grafici visualizzazione dei risultati	58
4.6	Foglio dati elettricità	59
4.7	Gestione andamento valore dell'elettricità	60
4.8	Grafico LCOE	62
4.9	Grafico LCOE'	63
4.10	Foglio 'Indici economici'	64
4.11	Foglio "Risparmi"	65
4.12	Grafico andamento spesa elettrica	66
4.13	Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 10 anni ($P_{FV} = 4.5 MW$).	67
4.14	Autoconsumo minimo per avere VAN positivo con investimento di durata 15 anni ($P_{FV} = 4.5 MW$).	68
4.15	Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 20 anni ($P_{FV} = 4.5 MW$).	68
4.16	Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 10 anni nel mercato libero ($P_{FV} = 4.5 MW$).	69
4.17	Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 20 anni nel mercato libero ($P_{FV} = 4.5 MW$).	69
4.18	Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 10 anni ($P_{FV} = 300 kW$).	70
4.19	Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 15 anni ($P_{FV} = 300 kW$).	71
4.20	Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 20 anni ($P_{FV} = 300 kW$).	71
4.21	Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 10 anni ($P_{FV} = 15 kW$).	73
4.22	Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 15 anni ($P_{FV} = 15 kW$).	73
4.23	Autoconsumo minimo per avere VAN nullo con investimento di durata 20 anni ($P_{FV} = 15 kW$).	73
5.1	Costruzione albero binomiale tramite Excel	75
5.2	Valore OR abbandono	81
5.3	Valore OR espandere	81
5.4	OR espansione ad incertezza nulla	82
5.5	OR espansione ad incertezza bassa	82
5.6	OR espansione ad incertezza media	83
5.7	OR espansione incertezza elevata	83
5.8	OR espansione	84
5.9	OR espansione	85
5.10	Alberi binomiali OR espansione	85
5.11	OR espansione al 53,5% (+10%)	86
5.12	OR espansione al 75%	86
5.13	OR espansione al 85%	87
5.14	Calo valore investimento per la contrazione dell'autoconsumo	88
5.15	OR contrazione incertezza nulla	88
5.16	OR contrazione incertezza bassa	89
5.17	OR contrazione incertezza media	89
5.18	OR contrazione incertezza elevata	89
5.19	OR contrazione	90
5.20	OR contrazione	90
5.21	Alberi binomiali OR contrazione	91
5.22	OR contrazione al 33,5% (-10%)	92
5.23	OR contrazione al 25%	93
5.24	OR contrazione al 15%	93
5.25	OR di prolungamento	94
5.26	OR differire	94
6.1	Andamento valore OR	99

Elenco delle tabelle

3.1	Tabella dati esempio	34
3.2	Tabella dati esempio	45
3.3	Probabilità	48
3.4	Riepilogo valori.	50
5.1	Tabella delle incertezze usate	80
5.2	Dati OR espansione punto A	84
5.3	Dati OR contrazione punto A	88
5.4	Albero binomiale delle scelte	95
5.5	Alberi OR differire incertezze nulla	95
5.6	Alberi OR differire incertezza bassa	95
5.7	Alberi OR differire incertezza media	95
5.8	Alberi OR differire incertezza elevata	96
6.1	Tabella a passi per analisi approfondita tramite OR	101
6.2	Riepilogo ricerca OR nel mondo delle rinnovabili	102

Bibliografia

- [1] L.J. Gitman e J. Forrester, Jr., "A Survey of Capital Budgeting Techniques Used by Major. U.S. Firms" *Financial Management* 6 (1977):66-71
- [2] Stewart C. Myers, *Finance Theory and Financial Strategy*, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts (1984).
- [3] Amaran M. e Kulatilaka N. . *Real Options, Managing Strategic Investment in an Uncerertain World*, Harvard Business School Press: Boston MA (1999).
- [4] Michele Moretto e Chiara D.Alpaos. *REAL OPTIONS, Un modo per dare valore all'incertezza dei mercati. Summer School on Real Estate Appraisal-San Vito di Cadore (Ita)* (2004).
- [5] Dixit A., and R.S. Pindyck. *Investment under Uncertainty*, Princeton (NJ): Princeton University Press (1994).
- [6] Black F, Scholes MS. The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy* 1973;81:637-54.
- [7] Merton, Robert C. . "Theory of Rational Option Pricing". *Bell Journal of Economics and Management Science (The RAND Corporation)* 4: 141-183 (1973).
- [8] Cox JC, Ross SA, Rubinstein M. Option pricing: a simplified approach. *Journal of Financial Economics* 1979;7:229-63.
- [9] E.A. Martínez Cesena, J.Mutale, F.Rivas-Davalos. Real options theory applied to electricity generation projects: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19 (2013): 573-581.
- [10] Shun-Chung Lee, Li-Hsing Shih. Enhancing renewable and sustainable energy development based on an options based policy evaluation framework: Case study of wind energy technology in Taiwan 2010. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011): 2185-2198.
- [11] Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas. *Relazione annuale sullo stato dei servizi e sull'attività svolta. Vol 1 e 2* (31 marzo 2012)
- [12] Gestore dei Servizi Elettrici. *Rapporto Stocastico 2011: Solare Fotovoltaico.* (2011)
- [13] Eurelectric. *Fiscal Flash Electricity 2012: Developments in Tax Policies Relevant to the European Electricity Industry in 2012* (giugno 2012).
- [14] Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas. *Piano strategico per il triennio 2012-2014* (26 luglio 2012).
- [15] *Relazione tecnica. Modalità e condizioni tecnico economiche per l'erogazione del servizio di scambio sul posto* (20 dicembre 2012).
- [16] International Energy Agency. *Photovoltaic Power Systems Programme: annual report 2011, implementing agreement on photovoltaic power systems* (2012).
- [17] European Photovoltaic Industry Association. *Connecting the sun: solar photovoltaics on the road to large-scale grid integration* (settembre 2012).
- [18] Johanthan Mun. *Real Options Analysis: Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions.* John Wiley & sons, Inc. (2002).

- [19] Eduardo Alejandro, Martinez Cesena. Real Options Theory Applied to Renewable Energy Generation Projects Planning. Thesis submitted to University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Engineering and Physical Sciences (2012).
- [20] Marion A.Brach. Real Options in practice. John Wiley & Sons, Inc. (2003).
- [21] M.Tarabocchi. Metodologie di analisi degli investimenti in impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili. Tesi di laurea Università degli Studi di Padova, corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettrica (2012).
- [22] Augusto Cesar Arenaro, Carlos Bastian-Pinto, Luiz E. Brandão e Warren J.Han. Valuation of Investment Projects in Renewables using Real Options: a Case Study in Sugar, Ethanol, and Energy Plants. (2011)
- [23] Frode Kjærland. A real option analysis of investments in hydropower: The case of Norway. *Energy Policy* 35 (2007) 5901-5908.
- [24] Baabak Ashuri, Hamed Kashani e Jian Lu. A real options approach to evaluating investment in solar ready buildings. Management and Innovation for a sustainable Built Environment (20-23 June 2011), Amsterdam, The Netherlands.
- [25] E.A. Martínez-Cesena, J. Mutale. Application of an advanced real options approach for renewable energy generation projects planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 2087–2094.
- [26] S.-E. Fletena, K.M. Maribub, I. Wangensteenb. Optimal investment strategies in decentralized renewable power generation under uncertainty. *Energy* 32 (2007) 803–815.
- [27] Duarte Carvalho, Joao Wemans, Joao Lima , Isabel Malico. Photovoltaic energy mini-generation: Future perspectives for Portugal. *Energy Policy* 39 (2011) 5465–5473.
- [28] Trine Krogh Boomsma, Nigel Meade, Stein-Erik Fleten. Renewable energy investments under different support schemes: A real options approach. *European Journal of Operational Research* 220 (2012) 225–237.
- [29] Federica Cucchiella, Idiano D’Adamo, Massimo Gastaldi, S.C. Lenny Koh. Renewable energy options for buildings: Performance evaluations of integrated photovoltaic systems. *Energy and Buildings* 55 (2012) 208–217.
- [30] Bartolomeu Fernandes, Jorge Cunha, Paula Ferreira. The use of real options approach in energy sector investments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 4491– 4497.
- [31] Shun-Chung Lee. Using real option analysis for highly uncertain technology investments: The case of wind energy technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 4443– 4450.
- [32] Manuel Monjas-Barroso, Jose´ Balibrea-Iniesta. Valuation of projects for power generation with renewable energy: A comparative study based on real regulatory options. *Energy Policy* 55 (2013) 335–352.
- [33] T.E.Hoff, R.Margolis, C.Herig. A Simple Method for Consumers to Address Uncertainty When Purchasing Photovoltaics. (2003)
- [34] Ming Yang, William Blyth, Richard Bradley, Derek Bunn, Charlie Clarke, Tom Wilson. Evaluating the power investment options with uncertainty in climate policy. *Energy Economics* 30 (2008) 1933–1950.
- [35] Afzal Siddiqui, Stein-Erik Fleten. How to proceed with competing alternative energy technologies: A real options analysis. *Energy Economics* 32 (2010) 817–830.
- [36] Graham A. Davisa, Brandon Owens. Optimizing the level of renewable electric R&D expenditures using real options analysis. *Energy Policy* 31 (2003) 1589–1608.
- [37] Luiz E. T. Brandão, Gilberto Master Penedo, Carlos Bastian Pinto. The option value of switching inputs in a biodiesel plant (2008).
- [38] Jeffrey R. Stokes, Rekha M. Rajagopalan, and Spiro E. Stefanou. Investment in a Methane Digester: An Application of Capital Budgeting and Real Options. *Review of Agricultural Economics*, Volume 30, Number 4, Pages 664–676.

- [39] Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas. Indagine conoscitiva sulla strategia energetica nazionale. (Roma, 20 ottobre 2010).
- [40] Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas. Documento per la consultazione pubblica. Strategia Energetica Nazionale: per un'energia più competitiva e sostenibile (ottobre 2012).
- [41] Giancarlo Pireddu. Economia dell'energia. I fondamenti. Biblioteca Delle Scienze Università degli Studi di Pavia (2009).
- [42] Appunti di Economia del mercato elettrico, prof A. Lorenzoni. Corso di laurea magistrale in ingegneria elettrotecnica. ESU padova 2011-2012. (2012).
- [43] Appunti per il corso di Economia delle fonti di energia. Dalle lezioni dei Proff: P.Berra, L. De Paoli, G. Zingales. CLEUP Editrice-Padova (1997).

Siti internet:

- [44] www.autorita.energia.it
- [45] www.gse.it
- [46] www.sviluppoeconomico.gov.it
- [47] www.mercatoelettrico.org
- [48] www.gazzettaufficiale.it