



Università
Ca' Foscari
Venezia

Corso di Laurea Magistrale
in Sviluppo Economico e dell'Impresa
Ordinamento ex D.M. 270/2004

Tesi di Laurea

**L'applicazione dell'Analytic Hierarchy
Process (AHP) nell'ambito della
gestione strategica d'impresa**

Un confronto tra la metodologia tradizionale e le
tecniche moderne

Relatore

Ch. Prof. Paolo Pellizzari

Laureando

Matteo Vistosi

Matricola 833135

Anno Accademico

2016 / 2017

Questo elaborato è dedicato a mio papà Maurizio, nella speranza che riesca a vincere la battaglia più dura della sua vita: sei un uomo forte e leale, il nostro punto di riferimento. Forza papà!

Voglio, infine, ricordare l'illustre Thomas Prof. Saaty, venuto a mancare nel 2017, dopo una lunga lotta contro il cancro, le cui teorie rappresentano la base principale di questo testo. Stimato a livello internazionale, è stato capace di un impatto senza precedenti sul mondo decisionale.

INDICE

INTRODUZIONE	7
1. L'APPROCCIO TEORICO E PRATICO DEL MODELLO DELL'AHP	11
1.1 Il metodo di Saaty	12
1.2 Il metodo dell' <i>eigenvalue</i> contro le altre metodologie	19
1.3 Un esempio pratico: la scelta di un CEO	20
2 UNA REVIEW DELLE APPLICAZIONI NELL'AMBITO DELL'OPERATIONS MANAGEMENT	25
2.1 <i>L'Operations Management</i>	25
2.2 Il framework per la classificazione	26
2.3 L'analisi e la classificazione delle applicazioni	27
2.4 Le conclusioni sui dati trattati	40
3 L'APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA TRADIZIONALE	43
3.1 La selezione di un fornitore	43
3.2 La riorganizzazione del processo produttivo	49
3.3 La definizione di una strategia di mercato	54
3.4 La stima della performance di un settore	59
3.5 La valutazione della sostenibilità produttiva	65
4 LE METODOLOGIE MODERNE: TEORIA ED ESEMPI	71
4.1 Le tecniche moderne	72
4.2 Le generalizzazioni del teorema di <i>Perron-Frobenius</i>	89
CONCLUSIONE	97
APPENDICE	99
RINGRAZIAMENTI	111
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	113

INTRODUZIONE

Cos'è la strategia? A cosa serve e come funziona? Per rispondere a queste domande, oltre cinquant'anni fa Chandler¹ ha fornito una definizione di strategia che è diventata piuttosto popolare e condivisa: la strategia riguarda la determinazione degli obiettivi di base a lungo termine dell'azienda e le relative linee d'azione appropriate per raggiungerli.

Sposando ed estendendo i concetti di questa definizione, è possibile scegliere di concepire la strategia come un'ampia gamma di iniziative che consentono ad un'impresa di superare i concorrenti nel mercato. In altre parole, è il complesso insieme di schemi interpretativi, decisioni e azioni che portano un'attività economica a raggiungere prestazioni superiori.

È un'interpretazione del concetto di strategia molto importante, perché non solo definisce un perimetro o dei confini ad un qualcosa che è sempre stato nebuloso, ma anche perché conferma che le decisioni aziendali che ne fanno parte non sono solo le classiche scelte di mercato o di marketing, ma qualsivoglia operazione che permette all'impresa di essere maggiormente performante.

A partire dalla definizione data da Chandler, c'è stata un'esplosione dei filoni di ricerca attorno alla strategia, che ha portato allo sviluppo di molti nuovi concetti e teorie, a volte con punti di vista contrastanti e spesso con un livello molto alto di specializzazione. Questa è una diretta conseguenza della complessità della materia, dal momento che si sviluppa in un contesto che è, per definizione, dinamico, sociale e sistemico. Inoltre, non va dimenticata l'evoluzione della materia stessa (sinteticamente, da zero ad infinito²) sotto la spinta di globalizzazione, conoscenza, tecnologia e *networks*, che peraltro ha portato a nuovi mercati e maggiore innovazione.

¹ A. Chandler, "Strategy and structure: chapters in the history of the industrial enterprise", *Cambridge: M.I.T. Press*, 1962.

² Si ritiene che la strategia abbia saputo evolversi dallo stadio zero del 19° secolo, nel quale il modello di concorrenza perfetta rendeva la strategia nulla; allo stadio uno del 20° secolo, nel quale vigeva il concetto di unica via ottimale di strategia, determinata scientificamente; infine, alla strategia interpretata come infinite possibilità e combinazioni nel 21° secolo.

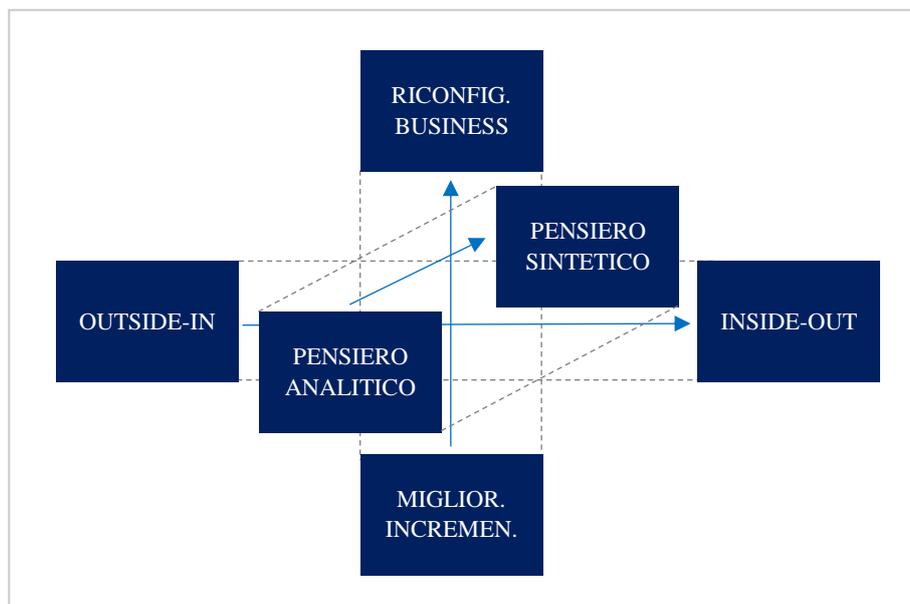
Senza, però, dilungarsi troppo in differenti definizioni, teorie e concetti, va sicuramente sottolineato un *framework* di recente ideazione³, che ha permesso da un lato di racchiudere l'intero panorama del concetto di strategia in un unico schema, dall'altro di navigare meglio tra le teorie di ieri, oggi e domani.

La cosiddetta “Strategia in Tre Dimensioni” (Figura I.1), si articola attorno a sei *building-blocks* che rappresentano le sei facce di un cubo: ogni facciata (che è un estremo) ha una sua controparte, che ne rappresenta l'evoluzione.

Analiticamente si hanno:

- Il Pensiero Analitico ed il Pensiero Sintetico;
- L'Outside-in e l'Inside-out;
- I Miglioramenti Incrementali e la Riconfigurazione di Business.

FIG. I.1 – LA RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELLA STRATEGIA IN TRE DIMENSIONI



Questo elaborato trova la sua posizione naturale nell'ambito del Pensiero Analitico.

In questo contesto, la strategia è concepita come un processo piuttosto analitico, formale, deliberato e lineare. In altre parole, i processi

³ L. Buzzavo, “Strategy in three dimensions. Perspectives for strategy innovation”, CEDAM, 2012.

strategici sono visti come un dominio della scienza, modellata da una logica di formulazione di ipotesi, verificata attraverso l'acquisizione di dati e lo sviluppo di esperimenti e continuamente perfezionata incorporando nuove informazioni.

La strategia, in questa visione, è fondamentalmente guidata da un piano: i decisori (manager o un singolo imprenditore) elaborano una serie di obiettivi ed intraprendono le appropriate scelte per perseguirli, dove il piano serve come strumento per mediare le dinamiche interne ed esterne dell'azienda.

Molteplici famosi strumenti e tools a disposizione di manager ed imprenditori fanno parte di questo elemento base, tra i quali vale la pena ricordare l'Analisi S.W.O.T.⁴ e l'Analisi degli Scenari⁵.

In aggiunta ai due appena citati, negli ultimi anni sta prendendo piede l'uso dell'*Analytic Hierarchy Process* (AHP), un modello basato su sistemi lineari e matrici che permette di prendere razionalmente decisioni in presenza di più criteri e più alternative tra cui scegliere. Ovviamente, per quanto sia uno strumento di efficacia comprovata, è assolutamente necessario ricordare che una buona strategia non si basa mai su un unico strumento oppure un'unica prospettiva, ma sull'unione del complesso di *tools*, tecniche, paradigmi e concetti appartenenti a questo ramo economico.

Ecco che nel primo capitolo viene affrontata la teoria del modello tradizionale dell'AHP, corredata da un esempio pratico e chiarificatore; nel secondo capitolo viene esposta una *review* di un sottoinsieme specifico della letteratura in materia, al fine di confermare l'incidenza dello strumento nell'ambito economico; nel terzo capitolo sono descritti alcuni esempi reali di applicazione del modello tradizionale nell'ambito del management; infine, nel quarto capitolo vengono introdotte alcune tecniche moderne e generalizzazioni derivanti da questo secolo, per le quali sono esposti i vantaggi e le criticità risolte rispetto al modello tradizionale.

⁴ L'analisi S.W.O.T. (conosciuta anche come matrice S.W.O.T.) è uno strumento di pianificazione strategica usato per valutare i punti di forza (*Strengths*), le debolezze (*Weaknesses*), le opportunità (*Opportunities*) e le minacce (*Threats*) di un progetto.

⁵ L'Analisi degli Scenari è un metodo di analisi e previsione economica a medio e lungo periodo, qualitativa e quantitativa, che consiste nell'ipotizzare una serie di possibili alternative future per un gruppo di variabili economiche o finanziarie, attribuire una probabilità a ciascuna di esse e infine trarre conclusioni previsive dall'insieme delle informazioni raccolte.

1 L'APPROCCIO TEORICO E PRATICO DEL MODELLO DELL'AHP

1.1 Il metodo di Saaty – 1.2 Il metodo dell'eigenvalue contro le altre metodologie –
1.3 Un esempio pratico: la scelta di un CEO

Fondamentalmente tutte le persone sono dei *decision makers*. Tutto ciò che fanno, consapevolmente oppure inconsciamente, è il risultato delle decisioni che prendono.

Le informazioni che vengono raccolte sono un aiuto per la comprensione corretta degli eventi, al fine di sviluppare buoni giudizi su cui prendere decisioni sugli stessi. Non tutte le informazioni sono utili per migliorare la comprensione e le sentenze. Infatti se le decisioni vengono prese solo intuitivamente, si potrebbe credere che la caratteristica principale della raccolta delle informazioni è la quantità, ma non è di certo una buona strada. Ci sono numerosi esempi che mostrano che troppe informazioni sono sinonimo di una qualità informativa scadente: sapere di più non garantisce di capire meglio, come è stato illustrato da alcuni autori che hanno scritto che "*Yet expert after expert missed the revolutionary significance of what Darwin had collected. Darwin, who knew less, somehow understood more*"¹.

Per prendere una decisione è necessario conoscere il problema, le necessità e lo scopo della decisione, i criteri della decisione (ed eventualmente i loro sotto-criteri), le parti ed i gruppi interessati, l'insieme delle alternative a disposizione nonché le azioni da intraprendere. A questo punto è possibile provare a determinare la migliore alternativa, concludendo così il processo decisionale.

Il processo decisionale oggi si è consolidato come una scienza matematica², formalizzando il pensiero di quello che dobbiamo fare per prendere decisioni migliori, rendendolo trasparente e chiaro in tutti i suoi aspetti. Serve, però, una comprensione profonda di questo processo, che è uno dei più preziosi che la natura ci ha donato, basti pensare alla rilevanza di alcune decisioni sulla sopravvivenza delle specie oppure –rientrando nel contesto di questo elaborato– alla

¹ F. J. Sulloway, "Born to Rebel: Birth Order, Family Dynamics, and Creative Lives", *Pantheon Books*, 1996, pag. 20.

² J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott, "Multi Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys", *Springer-Verlag New York*, 2005.

molteplicità di decisioni economiche che vengono giornalmente prese in tutti i contesti, pubblici e privati.

Il processo decisionale coinvolge molti criteri e sotto-criteri utilizzati per classificare le alternative di una decisione. Non solo è necessario creare priorità per le alternative rispetto ai suddetti criteri, ma anche gli stessi criteri devono essere catalogati rispetto ad un obiettivo più alto.

Questa scala gerarchica rappresenta la struttura del processo di *Analytic Hierarchy Process*, il cui aspetto teorico-pratico verrà analizzato all'interno di questo capitolo.

1.1 IL METODO DI SAATY

L'*Analytic Hierarchy Process* (AHP)³⁻⁴ è definita come una teoria generale di misurazione. È usata per derivare scale di proporzioni da confronti, sia discreti che continui. Questi confronti possono essere tratti da misurazioni reali o da una scala fondamentale che riflette la forza relativa di preferenze e sentimenti. L'AHP è un metodo che può essere utilizzato per stabilire misure in entrambi domini, fisici e sociali. Utilizzando l'AHP per modellare un problema, è necessario rappresentare una struttura gerarchica o di rete, procedendo a confrontare a coppie tutti i fattori presenti (criteri, sotto-criteri ed alternative), al fine di stabilire le relazioni che articolano la struttura del problema decisionale.

Tre principi, infatti, guidano la modellazione di un problema decisionale nell'AHP: il principio di decomposizione, che trova la sua applicazione grazie alla struttura gerarchica; il principio della comparazione, applicato tramite i confronti a coppie; ed il principio della sintesi delle priorità, che si riferisce alla definizione di un ranking tramite la definizione di priorità globali e relative.

Il teorema, in definitiva, si caratterizza per alcuni aspetti fondamentali (esposti in dettaglio nei prossimi paragrafi), tramite i quali è possibile ripercorre tutti i passaggi di questo processo decisionale multi-criteriale.

³ T. L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, 1980.

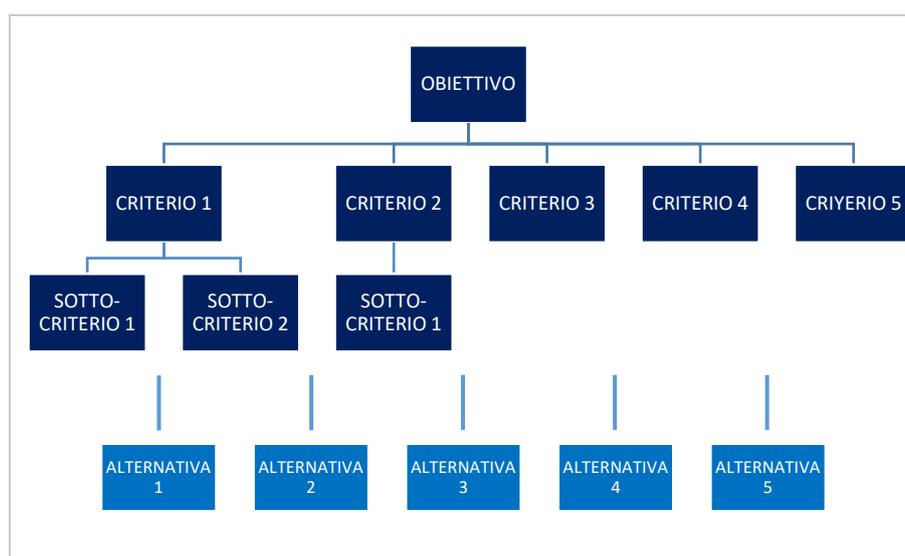
⁴ R. W. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process. What it is and how it is used", *Math Modelling*, 9, 1987, pagg. 161-176.

1.1.1 GLI STEP E LA STRUTTURA GERARCHICA

Il modello si basa su un processo sistematico organizzato secondo 4 step sequenziali:

1. Definizione del problema e determinazione del tipo di conoscenza richiesta;
2. Definizione dall'alto della struttura decisionale gerarchia (Figura 1.1), partendo con l'obiettivo della decisione e proseguendo ampliando la prospettiva attraverso i livelli intermedi (ossia i criteri da cui dipendono gli elementi successivi) ed il livello più basso (che solitamente è dedicato all'insieme delle alternative);
3. Costruzione delle serie di matrici di confronto a coppie. Ogni elemento viene confrontato con gli altri appartenenti al medesimo livello, ripetendo questa operazione per ognuno dei livelli sopra di esso;
4. Utilizzo delle priorità ottenute dai confronti precedenti al fine di valutare la classificazione del livello più basso. La priorità globale, infatti, si ottiene pesando il ranking di ciascuna alternativa in ciascun criterio secondo la priorità ottenuta dai criteri stessi nei confronti effettuati al livello intermedio. L'ottenimento della stessa determina l'alternativa dominante.

FIG. 1.1 – LA STRUTTURA DECISIONALE GERARCHICA



1.1.2 LA SCALA DI COMPARAZIONE

Per poter effettuare i confronti è necessario disporre di una scala di numeri che quantifichi quanto un'alternativa sia migliore o dominante rispetto ad un'altra, secondo un determinato fattore in osservazione. Data la rilevanza della problematica di comparazione, il teorema dell'AHP è accompagnato da una scala *ad-hoc* (Tabella 1.1), strutturata su 9 livelli di giudizio, che permette di rendere le decisioni maggiormente consistenti e lineari.

TAB. 1.1 – LA SCALA FONDAMENTALE DEI NUMERI ASSOLUTI

Intensità	Definizione	Spiegazione
1	Stessa importanza	Due attività contribuiscono ugualmente allo stesso obbiettivo.
2	Importanza debole	
3	Importanza moderata	Esperienza e giudizio sono leggermente favorevoli ad un'attività rispetto a un'altra.
4	Importanza moderata plus	
5	Importanza forte	Esperienza e giudizio favoriscono fortemente un'attività rispetto a un'altra
6	Importanza forte plus	
7	Importa molto forte	Un'attività è fortemente favorita rispetto ad un'altra; il suo dominio è dimostrato nella pratica.
8	Importanza molto forte plus	
9	Importanza estrema	Le prove favoriscono un'attività rispetto a un'altra con il più alto ordine possibile di affermazione.
1.1 – 1.9	Alternative molto vicine	È difficile definire
2.1 – 2.9		l'alternativa migliore e
...		risulta necessario passare ad
x.1 – x.9		una dimensione numerica decimale.

1.1.3 IL TEOREMA DI PERRON-FROBENIUS ED IL METODO DELL'EIGENVALUE

L'AHP trova una delle sue basi teoriche in uno specifico teorema appartenente all'algebra lineare, quello di *Perron-Frobenius*⁵⁻⁶, esposto sinteticamente di seguito.

Se A è una matrice positiva (ossia con tutti gli elementi maggiori di zero):

- *L'autovalore (eigenvalue) di modulo massimo di A è reale e positivo;*
- *L'autovettore (eigenvector) corrispondente ha tutte le componenti positive.*

Il *Teorema di Perron-Frobenius* è di fondamentale importanza nella teoria dell'AHP in quanto, quando si struttura una matrice di confronti fra coppie di possibili decisioni A , è certo che questa sia a componenti strettamente positive e, di conseguenza, esiste sicuramente un autovettore w che determina l'ordine delle alternative del decisore. Sono due, quindi, gli aspetti da sviluppare: la definizione delle matrici di confronto e la determinazione dei ranking locali tramite il metodo dell'*eigenvalue*.

Dal punto di vista del primo aspetto, un problema decisionale può essere ricondotto in molti casi utili alla necessità di fornire una classifica delle alternative possibili: ad esempio, se $A1$ è meglio di $A2$ che a suo volta è meglio di $A3$, allora conviene scegliere $A1$. Come sottolineato in precedenza, è evidente che il decisore deve costruirsi il suo ranking e che questa operazione può essere delicata e coinvolgere diversi criteri. Spesso è più accessibile, invece, confrontare le coppie di alternative, ad esempio $A1$ contro $A2$, $A1$ contro $A3$ e così via, piuttosto che fornire direttamente una classifica.

⁵ O. Perron, "Zur Theorie der Matrizen", *Mathematische Annalen*, 64, 1907, pagg. 248-263.

⁶ G. Frobenius, "Über Matrizen aus nicht negativen Elementen", *Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss.*, 1912.

Per comprendere tutte le proprietà del processo è comodo ipotizzare di avere già a disposizione un ranking: le alternative $A1$, $A2$ e $A3$ generano il vettore di gradimento $g = (8; 4; 1)$. Questo significa che, secondo un determinato criterio, si gradisce $A1$ con intensità 8, $A2$ con intensità 4 e $A3$ con intensità 1. Se si è coerenti nell'applicazione dei punteggi contenuti nel vettore g è possibile facilmente confrontare le alternative a due a due, giungendo alla seguente matrice di comparazione A :

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 8 \\ 1/2 & 1 & 4 \\ 1/8 & 1/4 & 1 \end{pmatrix}$$

Una matrice di comparazione si legge così: "l'alternativa sulla riga è preferita a quella sulla colonna di x volte" oppure, più formalmente, la componente a_{ij} della matrice A denota di quante volte l'alternativa i è preferita all'alternativa j (con l'ovvia convenzione che se $a_{ij} < 1$ allora è j ad essere preferita).

Come sottolineato in precedenza, si devono sviluppare tante matrici di comparazione quanti sono i criteri (oppure i sotto-criteri) che si devono tenere in considerazione. Non va dimenticato, inoltre, che gli stessi criteri devono essere tra loro comparati al fine di poter pesare il ranking di ciascuna alternativa rispetto ad ognuno di essi, al fine di ottenere le priorità globali.

Ottenute le matrici di comparazione ci si può spingere a capire come definire la classifica delle stesse.

Tornando all'esempio precedente, è utile osservare il legame presente tra la matrice A ed il vettore g :

$$Ag = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 8 \\ 1/2 & 1 & 4 \\ 1/8 & 1/4 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 8 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 + 8 + 8 \\ 4 + 4 + 4 \\ 1 + 1 + 1 \end{pmatrix} = 3 \begin{pmatrix} 8 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix} = 3g$$

Si dice che il vettore g è un autovettore della matrice A , in quanto Ag è una costante per il vettore stesso. In particolare la costante (nel caso in esempio è 3) è semplicemente il numero di alternative presenti. Volendo riassumere, si può affermare che il ranking prodotto da un decisore perfettamente coerente è un autovettore della matrice dei

confronti. Inoltre, l'autovalore λ corrispondente è esattamente il numero n di alternative presenti nel problema decisionale.

Questa proprietà è molto utile, in quanto nella realtà nessuno ha a disposizione in partenza il vettore g , che anzi è ciò che il decisore cerca di determinare, mentre è possibile e plausibile popolare correttamente la matrice A attraverso modalità di confronto, di discussione e di analisi comparata di due alternative alla volta.

Dal punto di vista del calcolo numerico di autovettori ed autovalori, in questo contesto è sufficiente indicare alcune metodologie, tra le quali: i tre teoremi di *Gerschgorin*⁷, il metodo delle potenze e delle potenze inverse ed il metodo *QR*⁸⁻⁹⁻¹⁰. Oggi esistono numerosi software sul mercato (*free* ed a pagamento) che permettono di ridurre questa laboriosa operazione di calcolo a poche istruzioni (in alcuni casi addirittura una sola) da impartire in una console di *scripting*, capace di restituire un risultato immediatamente leggibile in pochissimi secondi. Non va dimenticato, infine, che a seconda della metodologia utilizzata per il calcolo dell'autovettore, può essere necessario effettuare una normalizzazione del vettore al fine di ottenere il ranking definitivo, rappresentato dal vettore ng :

$$ng = \frac{g}{\sum g_i}$$

Il metodo dell'*eigenvalue* è quello principalmente indicato dalla disciplina, benché non sia l'unico, come si vedrà più avanti all'interno di questo capitolo.

⁷ S. Gerschgorin, "Über die Abgrenzung der Eigenwerte einer Matrix", *Izv. Akad. Nauk SSSR Ser. Mat.*, 7, 1931, pagg. 749-754.

⁸ J. Francis, "The QR Transformation, I", *The Computer Journal*, 3, 1961, pagg. 265-271.

⁹ J. Francis, "The QR Transformation, II", *The Computer Journal*, 4, 1962, pagg. 332-345.

¹⁰ V. Kublanovskaya, "On some algorithms for the solution of the complete eigenvalue problem", *USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 1, 1963, pagg. 637-657.

1.1.4 L'INCONSISTENZA E LA VALIDAZIONE

La validazione di una decisione passa gioco forza per la validazione della struttura del problema decisionale.

Nella fattispecie, quando si parla di AHP, l'unica verifica fondamentale è che il decisore sia stato consistente nella costruzione delle matrici comparative.

La valutazione della consistenza del decisore, per ognuna delle matrici elaborate, si può ottenere tramite uno specifico indice, il *Consistency Index*:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

Si tratta di un valore che è nullo per decisori perfettamente consistenti e cresce all'aumentare delle contraddizioni nelle valutazioni: di conseguenza, più basso è e meglio è. È un indice che misura l'inconsistenza decisionale. Questo numero va confrontato con l'inconsistenza di un decisore casuale (una persona che attribuisce ad ogni a_{ij} valori a caso), i cui valori di riferimento (per una fonte si veda la nota 4) sono riportati di seguito (Tabella 1.2).

TAB. 1.2 – LA SCALA DI INCONSISTENZA CASUALE

<i>n</i>	Inconsistenza casuale (<i>ic</i>)	10% (<i>ic</i>)
1	0,00	0,00
2	0,00	0,00
3	0,58	0,06
4	0,90	0,09
5	1,12	0,11
6	1,24	0,12
7	1,32	0,13
8	1,41	0,14

Un decisore consistente ha un indice *CI* che non supera il 10% del valore di inconsistenza casuale.

Che cosa si fa se il *CI* è troppo elevato? La buona pratica impone di discutere col decisore e capire i motivi dell'inconsistenza. Questo dovrebbe condurre, si spera, ad una revisione dei giudizi ed a una

conseguente riduzione del livello d'inconsistenza. E se non si riesce a raggiungere un livello accettabilmente basso, sarà comunque noto a tutti che si tratta di una decisione complessa e probabilmente affetta da stranezze oppure particolarità.

1.2 IL METODO DELL'EIGENVALUE CONTRO LE ALTRE METODOLOGIE

Una delle priorità di una teoria decisionale è che sia credibile, quindi, che riesca a produrre risposte univoche rispetto alle alternative e variabili decisionali, tanto in termini di ranghi quanto di priorità.

Ovviamente, un approccio matematico al processo decisionale può suggerire differenti algoritmi di calcolo per dedurre scale e priorità. L'AHP utilizza, come detto in precedenza, come metodo principale quello dell'*eigenvalue*, ma non è l'unico: nel corso degli ultimi anni ne sono stati proposti molti altri, tra i quali il *Metodo dei Minimi Quadrati* ed il *Metodo dei Minimi Quadrati Logaritmici*.

La cosa interessante è che è stato dimostrato che quando la matrice reciproca positiva è coerente ($a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$), tutti questi metodi portano al medesimo risultato e, quindi, alla stessa decisione. Ma nella vita reale i giudizi sono spesso incoerenti e questi diversi metodi danno origine a diversi vettori di priorità. Tale variabilità viola il requisito di unicità di cui sopra ed è, pertanto, discutibile.

Alcuni studiosi hanno sostenuto che se l'incoerenza è ridotta, si verificano perturbazioni nei valori così piccole che non ha importanza quale metodo si usi. Di conseguenza si potrebbe pensare che vada preferito il metodo computazionalmente più semplice, che di certo non è quello degli *eigenvalues*.

Sfortunatamente, nei processi multi-criteriali come l'AHP quando diverse metodologie danno risultati lievemente differenti, sia a livello di criteri che di alternative, dopo la ponderazione dell'ordine di rango delle alternative, queste possono differire sensibilmente, finendo per far scegliere un'alternativa meno desiderabile.

Deve essere evidenziata, infatti, l'importanza della transitività in questo contesto: quella ordinale (se $A1$ è meglio di $A2$ e $A2$ è meglio di $A3$, $A1$ deve essere preferita a $A3$); e quella cardinale (ad esempio, se $A1$ è

preferita 3 volte rispetto ad A2 e A2 a sua volta lo è 2 volte rispetto ad A3, A1 deve essere 6 volte più importante di A3). Si intuisce chiaramente che questo doppio carattere della transitività è un requisito molto forte. Numerosi esempi¹¹ hanno dimostrato che l'*eigenvalue* è l'unico metodo che tratta direttamente la questione dell'incoerenza e cattura l'ordine di rango inerente ai dati incoerenti, mantenendo valido il requisito di validità della teoria esposto all'inizio del paragrafo.

1.3 UN ESEMPIO PRATICO: LA SCELTA DI UN CEO

L'utilizzo dell'AHP è ormai una prassi consolidata in ambito economico, come si vedrà nel prossimo capitolo, dove verrà presentata una review di un centinaio di applicazioni catalogate nel management d'impresa.

Prima di passare a questa analisi, però, può essere utile consolidare l'applicazione pratica di questo processo decisionale, tramite un *case-study* costruito *ad-hoc*, al fine di rendere maggiormente comprensibile l'approccio ai capitoli successivi (in particolare 3 e 4) dove verranno evidenziate alcune differenze nell'applicazione di metodologie tradizionali e moderne.

1.3.1 LO SCENARIO

Lo scenario d'esempio¹² è dedicato ad un'impresa, fondata nel 1960, che produce attrezzature industriali specializzate. Il suo successo futuro dipenderà dal mantenimento della forza competitiva delle sue linee di prodotto più vecchie e dalla generazione di un flusso costante d'innovazione. Il fondatore dell'azienda andrà in pensione presto ed una società di consulenza ha sviluppato un piano dettagliato per continuare il successo aziendale in sua assenza. Il piano impiegherà cinque anni per essere implementato e sostituirà lo stile altamente soggettivo del fondatore con un modo più moderno di fare affari.

¹¹ T. L. Saaty, "Ranking by Eigenvector Versus Other Methods in the Analytic Hierarchy Process", *Applied Mathematics Letters*, 11, 1998, pagg. 121-125.

¹² L'esempio trattato proviene da Wikipedia (si veda "Analytic hierarchy process – leader example").

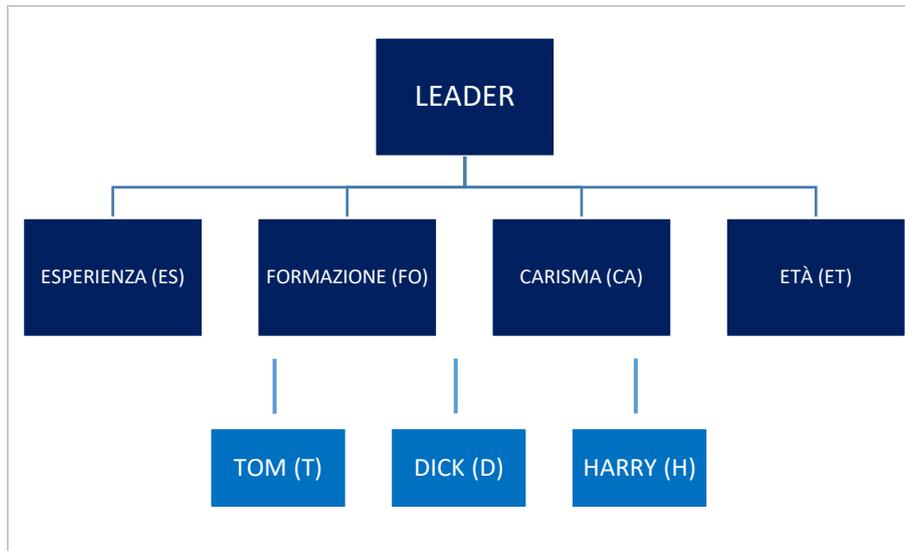
Il consiglio di amministrazione deve scegliere qualcuno per guidare la società attraverso il cambiamento e lo sconvolgimento che derivano dall'attuazione del piano consigliato. Nello svolgere questo compito, il nuovo leader dovrà prendere molte decisioni impopolari e ci si aspetta già che “pulisca l'ambiente” facendo un passo indietro dopo che il piano è stato pienamente implementato.

Dato questo scenario, il problema decisionale si configura con la struttura definita in Figura 1.2, mentre i candidati scelti dal consiglio di amministrazione (Tom, Dick e Harry) hanno le caratteristiche evidenziate in Tabella 1.3.

TAB. 1.3 – LE ALTERNATIVE (LEADER)

Competenza	Tom	Dick	Harry
Età	50	60	30
Esperienza	In azienda da 10 anni, più altri 16 in un settore differente, sempre nell'ambito del commerciale e del marketing e sempre con grande successo. Attualmente Vice Presidente del settore commerciale.	In azienda da 30 anni, più altri 8 in una dello stesso settore. Ha sempre avuto ruoli di grande responsabilità. Attualmente Vice Presidente esecutivo.	In azienda da 5 anni, più altri 4 in una dello stesso settore. Ha completato il suo percorso formativo nel management con tempi e performance record. Attualmente Vice Presidente finanziario.
Formazione	LM in marketing 26 anni fa. Master online lo scorso anno.	LM e master in storia quasi 40 anni fa.	LM e master in economia solo 5 anni fa. Certificato CPA.
Leadership	Leader attivo e amato da tutti i suoi subordinati.	Leader riservato e rispettato, che guida i suoi subordinati grazie alle sue conoscenze.	Leader silenzioso, ma altamente rispettato per le sue competenze e la sua brillantezza.

FIG. 1.2 – LA STRUTTURA DEL PROBLEMA DECISIONALE (LEADER)



1.3.2 I CRITERI E LE ALTERNATIVE

Definita la struttura gerarchica e, di conseguenza, le caratteristiche di criteri ed alternative, è possibile procedere alla popolazione delle matrici di comparazione, che dovranno rispettare le indicazioni individuate dallo scenario. Di seguito sono proposte in dettaglio per criteri (Tabella 1.4) ed alternative (Tabella 1.5).

TAB. 1.4 – LA CLASSIFICAZIONE DEI CRITERI (LEADER)

Criteri	ES	FO	CA	ET	Peso
ES	1	4	3	7	0,547
FO	1/4	1	1/3	3	0,127
CA	1/3	3	1	5	0,270
ET	1/7	1/3	1/5	1	0,056
				Totale	1,000
				Indice di consistenza (max. 0,090)	0,044

TAB. 1.5 – LA CLASSIFICAZIONE DELLE ALTERNATIVE (LEADER)

Esperienza (ES)				
	T	D	H	Peso
T	1	1/4	4	0,217
D	4	1	9	0,717
H	1/4	1/9	1	0,066
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,035

Formazione (FO)				
	T	D	H	Peso
T	1	3	1/5	0,188
D	1/3	1	1/7	0,081
H	5	7	1	0,731
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,052

Carisma (CA)				
	T	D	H	Peso
T	1	5	9	0,743
D	1/5	1	4	0,194
H	1/9	1/4	1	0,063
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,059

Età (ET)				
	T	D	H	Peso
T	1	1/3	5	0,265
D	3	1	9	0,672
H	1/5	1/9	1	0,063
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,028

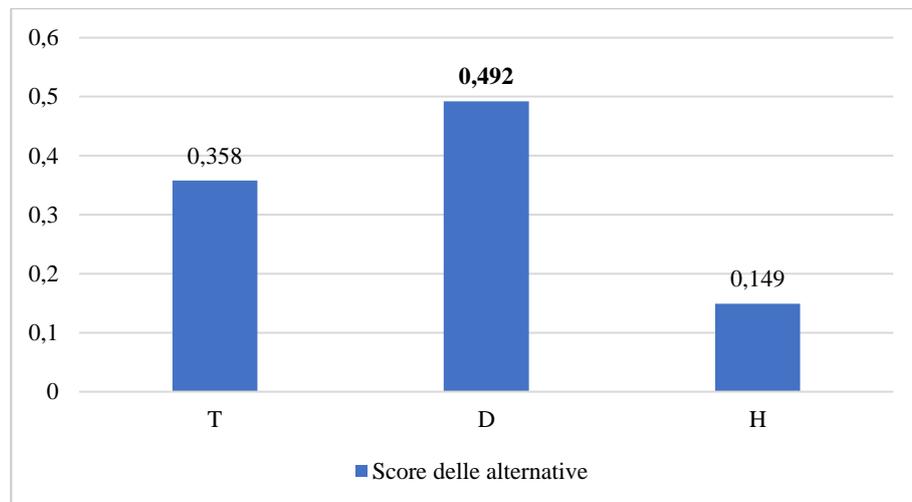
1.3.3 LA SCELTA DOMINANTE

Avendo a disposizione tutti i confronti è possibile tracciare la priorità globale di ciascuna alternativa (Tabella 1.6 e Figura 1.3). Per fare questo, come specificato nei paragrafi precedenti, è necessario moltiplicare ognuna delle priorità locali delle alternative in ogni per l'importanza globale dei criteri, sommando poi tutti i valori.

TAB. 1.6 – LO SCORE DELLE ALTERNATIVE (LEADER)

Alternative / Criteri					
	ES	FO	CA	ET	Peso
T	0,217*0,547	0,188*0,127	0,743*0,270	0,265*0,056	0,358
D	0,717*0,547	0,081*0,127	0,194*0,270	0,672*0,056	0,492
H	0,066*0,547	0,731*0,127	0,063*0,270	0,063*0,056	0,149
Totale					1,000

FIG. 1.3 – IL CONFRONTO DELLE ALTERNATIVE (LEADER)



Basandosi sulla scelta dei criteri decisionali da parte della commissione, sui loro giudizi sull'importanza relativa di ciascuno e sui loro giudizi su ciascun candidato rispetto a ciascuno dei criteri, Dick, con una priorità di quasi il 50%, è di gran lunga il candidato più adatto. Tom, con una priorità di 0,358 è il secondo, mentre Harry, a 0,149, chiude al terzo posto.

Il Consiglio, quindi, dovrebbe scegliere Dick come nuovo leader della compagnia.

Poiché hanno utilizzato l'AHP, è facile per tutti seguire le motivazioni e giustificare i passi lungo la strada verso la decisione. Se hanno ripensamenti sull'esito finale, possono rivisitare il processo ed apportare modifiche se necessario. E se scelgono di farlo, possono rivelare i dettagli del loro processo a consulenti, candidati, azionisti, o chiunque altro possa essere interessato alla decisione.

2 UNA REVIEW DELLE APPLICAZIONI NELL'AMBITO DELL'OPERATIONS MANAGEMENT

2.1 L'Operations Management – 2.2 Il framework per la classificazione – 2.3 L'analisi e la classificazione delle applicazioni – 2.4 Le conclusioni sui dati trattati

Esiste una vasta letteratura sulle applicazioni dell'AHP, che oggi annovera oltre 20.000 articoli accademici. Dato questo background, diventa interessante esaminare le applicazioni in campi specifici, al fine di capire l'incidenza effettiva di questo strumento.

Nei primi anni '80 sono state pubblicate le prime revisioni generali sulle applicazioni dell'AHP, seguite poi da revisioni maggiormente complete e specifiche negli anni 2000, molte delle quali si sono concentrate su uno specifico campo di applicazione oppure su questioni metodologiche.

Nel contesto di questo elaborato, il cui scopo è in parte quello di confermare il peso specifico dello strumento nell'ambito della gestione d'impresa, si è scelto di analizzare le applicazioni legate al cosiddetto *Operations Management* (OM), che racchiude un insieme di attività di management che possono essere considerate nativamente affini al metodo dell'AHP.

2.1 L'OPERATIONS MANAGEMENT

Ogni impresa è gestita attraverso differenti aree funzionali, ciascuna delle quali è responsabile di determinati aspetti dell'attività. La suddivisione più condivisa prevede quattro aree, ovvero il marketing, la gestione delle operazioni, l'area finanziaria ed il management informativo.

L'*Operations Management* (OM) riguarda la gestione delle attività organizzative e dei processi che portano alla produzione dei beni e/o alla fornitura dei servizi richiesti dai propri segmenti di clientela. Coinvolge attività di pianificazione, organizzazione, coordinamento e controllo di tutte le risorse necessarie ai processi produttivi di un'azienda. Poiché la gestione delle operazioni ha principalmente una funzione di gestione, implica il dover considerare l'insieme degli input

produttivi come persone, attrezzature, tecnologia, informazioni e tutte le altre risorse necessarie alla produzione. È considerata una funzione centrale in ogni azienda, a prescindere dalle dimensioni della stessa, dall'industria in cui si trova, dal fatto che si occupi di produzione di beni o di servizi, che sia un ente pubblico o privato o che sia o meno a scopo di lucro.

Svariati articoli hanno analizzato l'evoluzione della gestione operativa dal 16° al 21° secolo, discutendone alcuni sviluppi come la gestione scientifica (i cosiddetti Giorni di Taylor), la gestione delle fabbriche (un'estensione dei Giorni di Taylor), la gestione industriale (intorno agli anni '30) e la gestione della produzione (a partire dalla seconda guerra mondiale), con il risultato che il campo di studio risultante è l'incarnazione centrale di questi ambiti.

Poiché il campo dell'OM si è evoluto nel corso degli anni, anche il processo decisionale è diventato più complesso: nelle prime fasi, infatti, questo era orientato su un singolo criterio, ossia la minimizzazione dei costi (produrre nel modo più efficiente possibile); gli sviluppi più recenti hanno richiesto, invece, l'esame di più criteri quali qualità, flessibilità, tempestività, servizio di consegna ed innovazione.

Ciò ha fatto sì che l'utilizzo di metodi di *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) sia diventato predominante in quest'ambito e, infatti, la maggior parte delle applicazioni dell'AHP nel mondo del management fanno proprio riferimento all'OM, come si vedrà nei paragrafi successivi.

2.2 IL FRAMEWORK PER LA CLASSIFICAZIONE

Per una questione di facilità di presentazione, è risultato utile definire un framework¹ che permette di classificare le applicazioni dell'AHP nell'ambito dell'OM in cinque macro-aree, di seguito definite:

- Strategia operativa (OS): è un'ampia tematica di ricerca che tratta aspetti strategici. Molti studi su questo tema riguardano la corrispondenza delle caratteristiche della funzione operativa

¹ N. Subramanian, R. Ramanathan, "A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management", *International Journal of Production Economics*, 138, 2012, pagg. 215-241.

con le richieste del mercato al fine di soddisfare le esigenze dell'attività economica;

- Progettazione di prodotto e di processo (DESG): viene normalmente visto come concepimento del prodotto o servizio, stesura delle specifiche tecniche, analisi su come realizzare il prodotto o fornire il servizio e misurazione delle performance di prodotti e servizi;
- Pianificazione e programmazione delle risorse (PSR): è una tematica che comprende attività quali pianificazione a breve termine, pianificazione dei fabbisogni materiali, operazioni *just-in-time* e progettazione e misurazione del lavoro;
- Gestione del progetto (PM): è uno dei temi multidisciplinari più vivaci e dinamici che coinvolge la ricerca operativa, le scienze decisionali, le risorse umane, l'Information Technology et cetera. Copre le attività relative alla stima, alla pianificazione ed al controllo del progetto;
- Gestione della *Supply-Chain* (SCM): comprende tutte le attività legate alla logistica, alla catena di distribuzione, alla gestione dell'inventario, all'esternalizzazione ed alla cosiddetta logistica inversa.

Chiaramente, le aree di cui sopra possono essere ulteriormente suddivise in micro-aree operative più dettagliate, ma risulterebbe fuorviante al fine dell'analisi che si vuole sviluppare in questo capitolo.

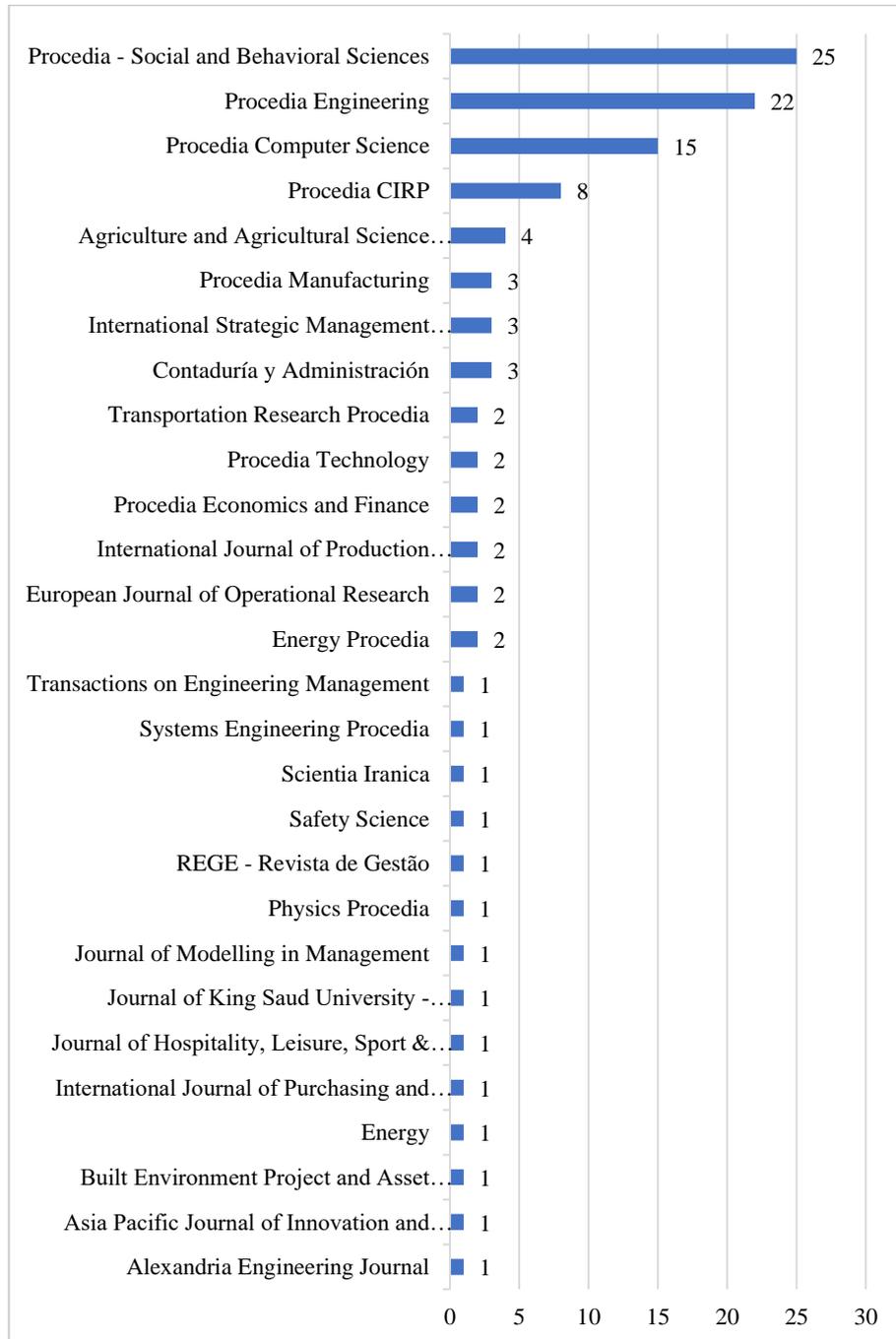
2.3 L'ANALISI E LA CLASSIFICAZIONE DELLE APPLICAZIONI

In questo paragrafo viene analizzato e catalogato un campione di 109 articoli accademici facenti parte della letteratura legata alle applicazioni dell'AHP nell'ambito dell'OM.

Per questioni di praticità è stato considerato il sotto-campione statistico di articoli accademici *open-access* (ad accesso libero) presenti all'interno dei tre principali motori di ricerca accademica online, ovvero

*ScienceDirect*², *Emerald*³ e *Ingenta*⁴ (si veda [Figura 2.1](#) per una classificazione per rivista e [Figura 2.2](#) per una cronologica).

FIG. 2.1 – CLASSIFICAZIONE PER RIVISTA

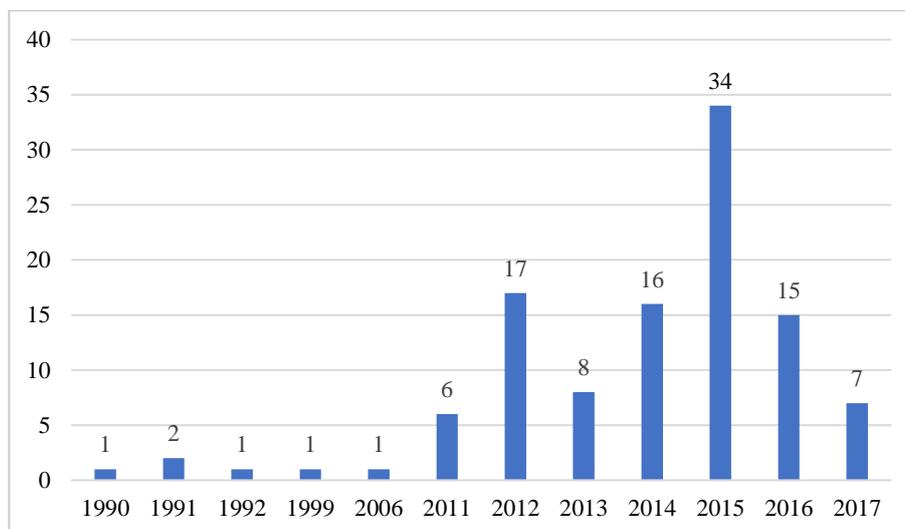


² ScienceDirect.com (<https://www.sciencedirect.com>).

³ EmeraldInsight.com (<http://www.emeraldinsight.com>).

⁴ IngentaConnect.com (<http://www.ingentaconnect.com>).

FIG. 2.2 – CLASSIFICAZIONE PER ANNO DI PUBBLICAZIONE



Alcune considerazioni circa il campione statistico intero, comprensivo di articoli *open-access* e *full-access*, sono esplicitate nel paragrafo conclusivo di questo capitolo.

2.3.1 LE APPLICAZIONI NELL'AMBITO DELLA STRATEGIA OPERATIVA (OS)

Molte decisioni strategiche implicano la considerazione di un mix di aspetti qualitativi e quantitativi, per questa ragione l'AHP sembra essere uno strumento molto popolare in quest'ambito. La sua utilità comprende gli ambiti della strategia produttiva, tecnologica ed ambientale.

Gli studi analizzati facenti parte di quest'area sono elencati in Tabella 2.1.

TAB. 2.1 – LE APPLICAZIONI IN AMBITO OS

Autori	Titolo	Anno
H. Jayawickrama, A. Kulatunga, S. Mathavan	Fuzzy AHP based Plant Sustainability Evaluation Method	2017
A. Riahi, M. Moharrampour	Evaluation of Strategic Management in Business with AHP Case Study: PARS House Appliance	2016

Autori	Titolo	Anno
H. Pakizehkar, M. Sadrabadi, R. Mehrjardi, A. Eshaghieh	The Application of Integration of Kano's Model, AHP Technique and QFD Matrix in Prioritizing the Bank's Substructions	2016
R. Mills, L. Newnes, A. Nassehi	Balancing Global Customer Needs and Profitability Using a Novel Business Model for New Model Programmes in the Automotive Industry	2016
A. Erdil, H. Erbyık	Selection Strategy via Analytic Hierarchy Process: An Application for a Small Enterprise in Milk Sector	2015
H. Kazan, M. Ertok, C. Ciftci	Application of a Hybrid Method in the Financial Analysis of Firm Performance	2015
J. Gorgulho, J. Tavares, C. Páscoa, J. Tribolet	Governance: Decision-making Model and Cycle	2015
J. Willmer Escobar	Metodología para la toma de decisiones de inversión en portafolio de acciones utilizando la técnica multicriterio AHP	2015
N. Rodríguez-Padial, M. Marín, R. Domingo	Strategic Framework to Maintenance Decision Support Systems	2015
R. Astuti, R. Silalahi, G. Wijaya	Marketing Strategy Based on Marketing Mix Influence on Purchasing Decisions of Malang Apples Consumers at Giant Olympic Garden Mall (MOG), Malang City, East Java Province, Indonesia	2015
R. Sari	Integration of Key Performance Indicator into the Corporate Strategic Planning: Case Study at PT. Inti Luhur Fuja Abadi, Pasuruan, East Java, Indonesia	2015
S. Gupta, G. Dangayach, A. Singh, P. Rao	Analytic Hierarchy Process (AHP) Model for Evaluating Sustainable Manufacturing Practices in Indian Electrical Panel Industries	2015
S. Wiratno, E. Latiffianti, K. Wirawan	Selection of Business Funding Proposals Using Analytic Network Process: A Case Study at a Venture Capital Company	2015
T. Bartusková, A. Kresta	Application of AHP Method in External Strategic Analysis of the Selected Organization	2015
M. Shaverdi, M. Heshmati, I. Ramezani	Application of Fuzzy AHP Approach for Financial Performance Evaluation of Iranian Petrochemical Sector	2014
Z. Dohnalová, B. Zimola	Corporate Stakeholder Management	2014
D. Zhao, Y. Fang	Can Representation Bias Help the Returns Forecast and Portfolio Selection?	2013

Autori	Titolo	Anno
E. Eraslan, K. Atalay, M. Dagdeviren, E. Aksakal	Using Fuzzy Wage Management System in Heavy Industry	2013
A. Görener, K. Toker, K. Uluçay	Application of Combined SWOT and AHP: A Case Study for a Manufacturing Firm	2012
Ş. Şeker, M. Özgürler	Analysis of the Turkish Consumer Electronics Firm using SWOT-AHP Method	2012
Y. Zhu, H. Lei	Fuzzy AHP Analysis on Enterprises' Independent Innovation Capability Evaluation	2012
A. Kroenke, N. Hein	Avaliação de empresas por meio de indicadores de atividade: uma aplicação do método AHP	2011
L. Peiyu, L. Dong	The New Risk Assessment Model for Information System in Cloud Computing Environment	2011
M. Moshref Javadi, Z. Azmoon	Ranking branches of System Group company in Terms of acceptance preparation of electronic Customer Relationship Management using AHP method	2011
T. Wang, B. Xin, L. Qin	AHP-Based Capacity Evaluation of Enterprise Development	2011
S. Vashishtha, M. Ramachandran	Multicriteria evaluation of demand side management (DSM) implementation strategies in the Indian power sector	2006
M. A. Mustafa	Project Risk Assessment Using the Analytic Hierarchy Process	1991
A. Arbel, Y. E. Orgler	An application of the AHP to bank strategic planning: The mergers and acquisitions process	1990

La classificazione evidenzia che l'area decisionale legata alle scelte strategiche di produzione, soprattutto in riferimento all'esplorazione e valutazione di nuovi sistemi e metodologie, e di mercato sono gli ambiti più coperti da questo tipo di analisi.

Aree applicative meno coinvolte sono, invece, quelle legate alla gestione degli *stakeholders*, alla misurazione delle performance, alla previsione dei risultati ed alla gestione del rischio.

Risulta interessante notare la presenza di un articolo legato alla gestione della sostenibilità competitiva: è un argomento che può essere considerato *borderline*, in quanto a seconda dei contenuti espressi

nell'articolo –risulta corretto riportarla nell'OS quando si parla di pianificazione energetica, riciclaggio dei materiali, mitigazione dei cambiamenti climatici, gestione dei rifiuti solidi e recupero sostenibile– può essere classificato in quest'area oppure in quella della DESG, come si vedrà nel paragrafo successivo.

Il complesso di 28 applicazioni è un buon risultato, che porta questa categoria al secondo posto delle aree di *Operations Managements* maggiormente coinvolte nell'applicazione dell'AHP.

2.3.2 LE APPLICAZIONI NELL'AMBITO DELLA PROGETTAZIONE DI PRODOTTO E DI PROCESSO (DESG)

L'area di ricerca che rappresenta la DESG è abbastanza ampia, in quanto si riferisce alla moltitudine di attività che riguardano la progettazione di prodotti e processi produttivi. Ne fanno parte, quindi, applicazioni che hanno affrontato tematiche come la pianificazione, la previsione, la gestione della qualità, la misurazione ed il miglioramento delle prestazioni dei beni o delle imprese di servizi, la disposizione degli impianti e la gestione delle capacità.

Gli studi analizzati facenti parte di quest'area sono elencati in Tabella 2.2.

TAB. 2.2 – LE APPLICAZIONI IN AMBITO DESG

Autori	Titolo	Anno
I. Temiz, G. Calis	Selection of Construction Equipment by using Multi-criteria Decision Making Methods	2017
R. Elhuni, M. Ahmad	Key Performance Indicators for Sustainable Production Evaluation in Oil and Gas Sector	2017
G. Campeol, S. Carollo, N. Masotto	Infrastructural Projects and Territorial Development in Veneto Dolomites: Evaluation of Performances through AHP	2016
O. Bologna, R. Breaz, S. Racz, M. Crenganiş	Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) in Evaluating the Decision of Moving to a Manufacturing Process Based Upon Continuous 5 Axes CNC Machine-tools	2016
Y. Kim, S. Park, Y. Sawng	Improving new product development (NPD) process by analyzing failure cases	2016

Autori	Titolo	Anno
A. Kulatunga, N. Karunatilake, N. Weerasinghe, R. Ihalawatta	Sustainable Manufacturing based Decision Support Model for Product Design and Development Process	2015
E. Amrina, A. Vilsu	Key Performance Indicators for Sustainable Manufacturing Evaluation in Cement Industry	2015
L. Barbosa, L. Gomes	Assessment of Efficiency and Sustainability in a Chemical Industry Using Goal Programming and AHP	2015
P. Goyal, Z. Rahman, A. A. Kazmi	Identification and prioritization of corporate sustainability practices using analytical hierarchy process	2015
R. Attri, S. Grover	Application of preference selection index method for decision making over the design stage of production system life cycle	2015
S. Kumar, S. Luthra, A. Haleem, S. Mangla, D. Garg	Identification and evaluation of critical factors to technology transfer using AHP approach	2015
Y. Boujelbene, A. Derbel	The Performance Analysis of Public Transport Operators in Tunisia Using AHP Method	2015
K. Villafán Vidales, D. Ayala Ortiz	Responsabilidad social de las empresas agrícolas y agroindustriales aguacateras de Uruapan, Michoacán, y sus implicaciones en la competitividad	2014
M. Hassan, M. Saman, S. Sharif, B. Omar	An Integrated MA-AHP Approach for Selecting the Highest Sustainability Index of a New Product	2012

Nonostante più articoli si siano occupati di decisioni legate alla gestione dei processi produttivi, all'analisi delle performance di processi e prodotti, alla pianificazione del ciclo vita dei prodotti ed alle scelte di design, l'area che è stata maggiormente sollecitata in questo campione è quella della sostenibilità dei processi produttivi, a conferma di quanto sia oggi una tematica rilevante e decisiva.

L'insieme di 14 applicazioni non porta attualmente sul podio quest'ambito dell'OM, anche se la polivalenza degli studi che lo riguardano gli conferiscono un enorme potenziale per gli anni futuri.

2.3.3 LE APPLICAZIONI NELL'AMBITO DELLA PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE DELLE RISORSE (PSR)

Un fattore strategico di primaria importanza nella produzione di prodotti e nell'erogazione di servizi è una corretta gestione delle risorse che un'azienda ha a disposizione. Non risulta certo sorprendente che l'AHP sia applicata anche in quest'ambito, dal momento che –a prescindere dalla dimensione delle imprese– sono scelte spesso decisive per la sopravvivenza nel mercato competitivo.

Gli studi analizzati facenti parte di quest'area sono elencati in Tabella 2.3.

TAB. 2.3 – LE APPLICAZIONI IN AMBITO PSR

Autori	Titolo	Anno
K. Phudphad, B. Watanapa, W. Krathu, S. Funilkul	Rankings of the security factors of human resources information system (HRIS) influencing the open climate of work: using analytic hierarchy process (AHP)	2017
H. Shakerian, H. Dehnavi, S. Ghanad	The Implementation of the Hybrid Model SWOT-TOPSIS by Fuzzy Approach to Evaluate and Rank the Human Resources and Business Strategies in Organizations (Case Study: Road and Urban Development Organization in Yazd)	2016
M. K. Fageha, A. A. Aibinu	Identifying stakeholders' involvement that enhances project scope definition completeness in Saudi Arabian public building projects	2016
N. Tapoglou, J. Mehnen	Cloud-based Job Dispatching Using Multi-criteria Decision Making	2016
C. Sekhar, M. Patwardhan, V. Vyas	A Delphi-AHP-TOPSIS Based Framework for the Prioritization of Intellectual Capital Indicators: A SMEs Perspective	2015
D. Podgórski	Measuring operational performance of OSH management system – A demonstration of AHP-based selection of leading key performance indicators	2015
R. Kusumawardani, M. Agintiara	Application of Fuzzy AHP-TOPSIS Method for Decision Making in Human Resource Manager Selection Process	2015
E. Aksakal, M. Dağdeviren	Analyzing Reward Management Framework with Multi Criteria Decision Making Methods	2014

Autori	Titolo	Anno
H. Tang	Constructing a competence model for international professionals in the MICE industry: An analytic hierarchy process approach	2014
J. Greitemann, E. Christ, A. Matzat, G. Reinhart	Strategic Evaluation of Technological Capabilities, Competencies and Core-Competencies of Manufacturing Companies	2014
S. Sokhanvar, J. Matthews, P. Yarlagadda	Importance of Knowledge Management Processes in a Project-based organization: A Case Study of Research Enterprise	2014
V. Keršulienė, Z. Turskis	An Integrated Multi-criteria Group Decision Making Process: Selection of the Chief Accountant	2014
L. Abdullah, S. Jaafar, I. Taib	Ranking of Human Capital Indicators Using Analytic Hierarchy Process	2013
O. Demirtas	Evaluating the Core Capabilities for Strategic Outsourcing Decisions at Aviation Maintenance Industry	2013
A. Sadeghi, A. Azar, R. Rad	Developing a Fuzzy Group AHP Model for Prioritizing the Factors Affecting Success of High-Tech SME's in Iran: A Case Study	2012
W. Zuo, Q. Wang, P. Yang	Research on the Current Situation of Peasant-Workers in Construction Industry Based on AHP	2012
V. Shahhosseini, M. Sebt	Competency-based selection and assignment of human resources to construction projects	2011

Dal momento che gli studi coinvolti nell'analisi sono molto recenti, sia i servizi che i beni hanno egual coinvolgimento nell'ambito dell'applicazione dell'AHP in questo tema. Si parla principalmente di scelte di assunzione / promozione di personale e di gestione del capitale umano in termini di produttività e produzione.

Il totale di 17 elementi porta quest'area sul gradino più basso del podio, con evidenti margini di miglioramento.

2.3.4 LE APPLICAZIONI NELL'AMBITO DELLA GESTIONE DEL PROGETTO (PM)

Gli studi dell'AHP in tema di PM riguardano gli ambiti di selezione e stima, pianificazione e controllo di un progetto.

Gli studi analizzati facenti parte di quest'area sono elencati in Tabella 2.4.

TAB. 2.4 – LE APPLICAZIONI IN AMBITO PM

Autori	Titolo	Anno
S. Erdogan, J. Šaparauskas, Z. Turskis	Decision Making in Construction Management: AHP and Expert Choice Approach	2017
E. Radziszewska-Zielina, B. Szewczyk	Supporting Partnering Relation Management in the Implementation of Construction Projects Using AHP and Fuzzy AHP Methods	2016
A. Neves, R. Camanho	The Use of AHP for IT Project Priorization – A Case Study for Oil & Gas Company	2015
A. Nurdiana, M. Wibowo, J. Hatmoko	Sensitivity Analysis of Risk from Stakeholders' Perception Case Study: Semarang-solo Highway Project Section I (Tembalang-Gedawang)	2015
Y. Chang, H. Ishii	Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Approach to Assess the Project Quality Management in Project	2013
N. Manteghi, M. Jahromi	Propose a model to choose best project by AHP in distributed generation	2012
N. Rahmani, A. Talebpour, T. Ahmadi	Developing a Multi Criteria Model for Stochastic IT Portfolio Selection by AHP Method	2012
F. Y. Partovi	An analytic hierarchy approach to activity-based costing	1991

Oltre alle classiche attività che permettono di gestire tutti gli aspetti di un progetto, è interessante notare la presenza di progettualità finanziarie e di gestione del rischio.

Si può già anticipare che si è di fronte all'area meno battuta in ambito OM, con sole 8 applicazioni presenti all'interno del campione, nonostante possa sembrare nativamente predisposta all'AHP, un po' come avviene per l'area SCM (analizzata nel prossimo paragrafo). È un risultato che si può spiegare tramite due differenti chiavi di lettura: un errore statistico derivante dal sotto-campione di applicazioni analizzato; oppure la tendenza di applicare differenti metodologie a decisioni di questo tipo.

2.3.5 LE APPLICAZIONI NELL'AMBITO DELLA GESTIONE DELLA SUPPLY-CHAIN (SCM)

La tematica della gestione della catena di approvvigionamento è diventata di recente focalizzazione grazie alle influenze pesanti della

globalizzazione, che in un certo qual modo hanno rovesciato equilibri e modificato molti assetti.

Le applicazioni in ambito SCM documentano principalmente questioni legate ai settori della logistica, della gestione delle scorte / risorse e dell'esternalizzazione della produzione.

Gli studi analizzati facenti parte di quest'area sono elencati in Tabella 2.5.

TAB. 2.5 – LE APPLICAZIONI IN AMBITO SCM

Autori	Titolo	Anno
A. Cengiz, O. Aytekin, I. Ozdemir, H. Kusan, A. Cabuk	A Multi-criteria Decision Model for Construction Material Supplier Selection	2017
S. Butzer, S. Schötz, M. Petroschke, R. Steinhilper	Development of a Performance Measurement System for International Reverse Supply Chains	2017
D. Tomasz	A Method to Select an IT System for a Logistics Company. A Highly Efficient Infrastructure to Respond, change and to Drive Innovation	2016
M. Galankashi, S. Helmi, P. Hashemzahi	Supplier selection in automobile industry: A mixed balanced scorecard–fuzzy AHP approach	2016
Ö. Gürcan, İ. Yazıcı, Ö. Beyca, Ç. Arslan, F. Eldemir	Third Party Logistics (3PL) Provider Selection with AHP Application	2016
R. Mavi, M. Goh, N. Mavi	Supplier Selection with Shannon Entropy and Fuzzy TOPSIS in the Context of Supply Chain Risk Management	2016
S. Nikghadam, A. Ozbayoglu, H. Unver, S. Kilic	Design of a Customer's Type Based Algorithm for Partner Selection Problem of Virtual Enterprise	2016
A. Guritno, R. Fujianti, D. Kusumasari	Assessment of the Supply Chain Factors and Classification of Inventory Management in Suppliers' Level of Fresh Vegetables	2015
A. Longaray, J. Gois, P. Munhoz	Proposal for using AHP Method to Evaluate the Quality of Services Provided by Outsourced Companies	2015
C. Tramarico, . Daniele Mizuno, V. Salomon, F. Marins	Analytic Hierarchy Process and Supply Chain Management: A Bibliometric Study	2015
G. Polat, E. Eray	An Integrated Approach using AHP-ER to Supplier Selection in Railway Projects	2015

Autori	Titolo	Anno
H. Afonso, M. Cabrita	Developing a Lean Supply Chain Performance Framework in a SME: A Perspective Based on the Balanced Scorecard	2015
I. Bukhori, K. Widodo, D. Ismoyowati	Evaluation of Poultry Supply Chain Performance in XYZ Slaughtering House Yogyakarta Using SCOR and AHP Method	2015
J. Piasny, J. Paślowski	Selection of Subcontractors as the Quality Improvement Tool in Housing Construction	2015
J. Scott, W. Ho, P. Dey, S. Talluri	A decision support system for supplier selection and order allocation in stochastic, multi-stakeholder and multi-criteria environments	2015
J. Žak	Comparative Analysis of Multiple Criteria Evaluations of Suppliers in Different Industries	2015
K. Zare, J. Mehri-Tekmeh, S. Karimi	A SWOT framework for analyzing the electricity supply chain using an integrated AHP methodology combined with fuzzy-TOPSIS	2015
M. Galankashi, A. Chegeni, A. Soleimanyanadegany, A. Memari, A. Anjomshoae, S. Helmi, A. Dargi	Prioritizing Green Supplier Selection Criteria Using Fuzzy Analytical Network Process	2015
M. Wibowo, M. Sholeh	The Analysis of Supply Chain Performance Measurement at Construction Project	2015
A. Aksoy, E. Sucky, N. Öztürk	Dynamic Strategic Supplier Selection System With Fuzzy Logic	2014
A. Badea, G. Prostean, G. Goncalves, H. Allaoui	Assessing Risk Factors in Collaborative Supply Chain with the Analytic Hierarchy Process (AHP)	2014
A. Jayant, P. Gupta, S. Garg, M. Khan	TOPSIS-AHP Based Approach for Selection of Reverse Logistics Service Provider: A Case Study of Mobile Phone Industry	2014
B. Rouyendegh (Babek Erdebilli), T. Saputro	Supplier Selection Using Integrated Fuzzy TOPSIS and MCGP: A Case Study	2014
F. Kog, H. Yaman	A Meta Classification and Analysis of Contractor Selection and Prequalification	2014

Autori	Titolo	Anno
M. Alomar, Z. Pasek	Linking Supply Chain Strategy and Processes to Performance Improvement	2014
M. Tyagi, P. Kumar, D. Kumar	A Hybrid Approach using AHP-TOPSIS for Analyzing e-SCM Performance	2014
V. Mani, R. Agrawal, V. Sharma	Supplier selection using social sustainability: AHP based approach in India	2014
G. Rajesh, P. Malliga	Supplier Selection based on AHP QFD Methodology	2013
J. García Alcaraz, A. Alvarado Iniesta, A. Maldonado Macías	Selección de proveedores basada en análisis dimensional	2013
M. Shaverdi, M. Heshmati, E. Eskandaripour, A. Tabar	Developing Sustainable SCM Evaluation Model Using Fuzzy AHP in Publishing Industry	2013
A. Azadnia, M. Saman, K. Wong, P. Ghadimi, N. Zakuan	Sustainable Supplier Selection based on Self-organizing Map Neural Network and Multi Criteria Decision Making Approaches	2012
A. Haldar, D. Banerjee, A. Ray, S. Ghosh	An Integrated Approach for Supplier Selection	2012
Ç. Sofyalıoğlu, B. Kartal	The Selection of Global Supply Chain Risk Management Strategies by Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process – A Case from Turkey	2012
J. Peng	Selection of Logistics Outsourcing Service Suppliers Based on AHP	2012
K. UmaDevi, C. Elango, R. Rajesh	VENDOR SELECTION USING AHP	2012
K. Veni, R. Rajesh, S. Pugazhendhi	Development of Decision Making Model Using Integrated AHP and DEA for Vendor Selection	2012
P. Ávila, A. Mota, A. Pires, J. Bastos, G. Putnik, J. Teixeira	Supplier's Selection Model based on an Empirical Study	2012
P. Parthiban, H. Zubar, C. Garge	A Multi Criteria Decision Making Approach for Suppliers Selection	2012
S. Divahar, C. Sudhahar	Selection of Reverse Logistics Provider Using AHP	2012
C. Jian, Y. Xuhong, Q. Yu, L. Yiner	An Integrative Decision-making Model for the Operation of Sustainable Supply Chain in China	2011
W. Ossadnik, O. Lange	AHP-based evaluation of AHP-Software	1999

Autori	Titolo	Anno
R. L. Nydick, R. P. Hill	Using the Analytic Hierarchy Process to Structure the Supplier Selection Procedure	1992

In assoluto la scelta tra fornitori è l'applicazione dell'AHP maggiormente diffusa in quest'ambito. Altri ambiti, di secondaria importanza a giudicare dai numeri decisamente meno rilevanti, si concentrano sulla misurazione delle performance di una catena di approvvigionamento, sulla sostenibilità, sull'*outsourcing* e sulla logistica inversa.

È, infine, evidente che quest'area dell'OM è la principale in ambito AHP, con oltre 40 applicazioni documentate: la sua naturale predisposizione allo strumento e la moltitudine di decisioni ad essa legate fanno indubbiamente la differenza.

2.4 LE CONCLUSIONI SUI DATI TRATTATI

La conclusione più diretta che è possibile affermare, grazie all'analisi emersa dalla *review* appena descritta, è che l'applicazione dell'AHP nell'ambito (in generale) del management è una prassi consolidata ed efficace, nonché moderna.

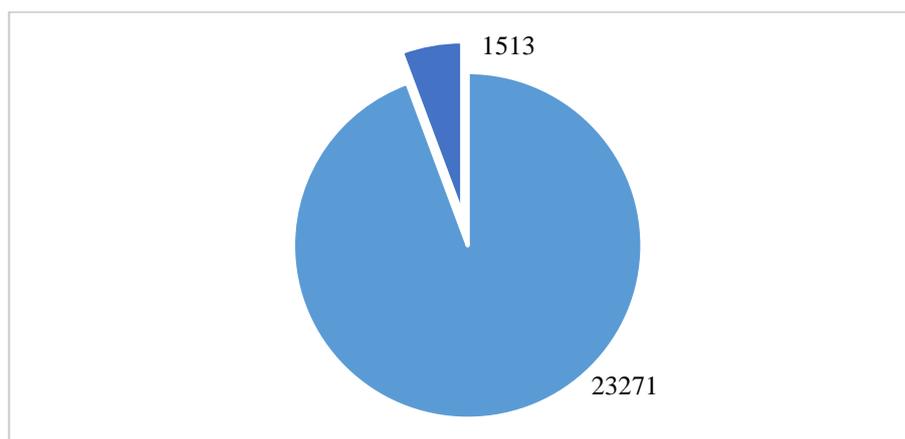
Dal punto di vista dei primi due aspetti è evidente che ci sono delle aree più mature, ovvero quelle della strategia e della gestione della catena di approvvigionamento, rispetto ad altre che contano meno applicazioni nonostante detengano un potenziale interessante per le ricerche dei prossimi anni. In questo senso, va certamente citata l'area delle previsioni, che viene considerata dalla comunità scientifica come una di quelle che godranno del maggior impulso di ricerca nei prossimi anni: ad esempio, un'integrazione dello strumento con i cosiddetti modelli AR.MA. oppure AR.I.MA.⁵ permetterebbe di affrontare

⁵ In Statistica per modello AR.I.MA. (p,d,q) – acronimo di *Auto-Regressive Integrated Moving Average* – si intende una particolare tipologia di modelli atti ad indagare serie storiche che presentano caratteristiche particolari, che derivano da un modello AR.MA. (p,q) a cui sono state applicate le differenze di ordine d per renderlo stazionario. T. Di Fonzo, F. Lisi, “Serie storiche economiche. Analisi statistiche e applicazioni.”, *Carrocci Editore*, 2005.

decisioni con ulteriore consapevolezza, limitando ulteriormente l'incertezza derivante dal futuro.

Vale la pena, comunque, ragionare sui numeri del campione statistico a conferma dei due aspetti appena citati: il campione complessivo degli articoli sull'AHP in formato *open-access* detiene 1674 elementi, dei quali 109 sono appartenenti al mondo del management, circa il 6,5%; il campione totale, invece, contenente articoli *open-access* e *full-access* è caratterizzato da 23271 articoli. L'ipotesi sviluppata finora è che il campione ridotto agli *open-access* sia centrato rispetto a quello *full-access*, quindi, una prima stima –basata sul 6,5% di estrazione citato in precedenza– delinea una componente AHP nell'ambito della gestione d'impresa di oltre 1500 articoli: una stima decisamente interessante (si veda la rappresentazione grafica in Figura 2.3).

FIG. 2.3 – STIMA DELLA COMPONENTE AHP NEL MANAGEMENT



In blu scuro il risultato parziale nell'ambito del management; in azzurro la percentuale restante sulla totalità di articoli accademici riguardanti applicazioni dell'AHP.

L'aspetto della modernità, infine, è ancor più sorprendente in quanto: da un lato, come si è definito nell'Introduzione di questo elaborato, l'AHP è uno strumento facente parte del filone di ricerca sulla gestione strategica d'impresa denominato "Pensiero Analitico", che è il filone più anziano rispetto agli altri cinque, risalente agli anni '60 e '70; dall'altro, la teoria dell'AHP definita dal matematico iracheno Saaty⁶

⁶ T. L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation", *McGraw-Hill*, 1980.

risale invece agli anni '80. Queste indicazioni, quindi, sono in contrasto con la classificazione cronologica del campione considerato nell'analisi, caratterizzato da uno squilibrio di applicazioni documentate nel periodo 2011-2017. Un'interessante chiave di lettura è quella centrata sulla recente crisi, che ha indubbiamente reso la competizione tra le imprese più aspra e complicata, imponendo agli imprenditori una maggiore attenzione alla consapevolezza con cui prendono le decisioni strategiche per la propria realtà. Questo ha probabilmente fatto risorgere questa metodologia, sia da un punto di vista pratico che da quello teorico.

3 L'APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA TRADIZIONALE

*3.1 La selezione di un fornitore – 3.2 La riorganizzazione del processo produttivo –
3.3 La definizione di una strategia di mercato – 3.4 La stima della performance di
un settore – 3.5 La valutazione della sostenibilità produttiva*

Nel precedente capitolo è stata presentata una *review* dei principali elaborati di carattere accademico in merito all'applicazione dell'AHP nell'ambito della gestione d'impresa, sottolineandone e confermandone la rilevanza nella materia.

A partire da questa conferma, dunque, è possibile procedere nell'analisi confrontando la classica metodologia applicativa, così come la si è presentata nel Capitolo 1, a forme maggiormente complesse e moderne, che si esamineranno nel prossimo capitolo.

A tal fine, è stato definito un sotto campione di applicazioni derivanti dal capitolo precedente, che verranno di seguito presentate ed elaborate. La scelta è ricaduta su cinque tipologie di scelte manageriali, nella fattispecie legate alla gestione degli *stakeholders* (Paragrafo 3.1), alla determinazione delle scelte di produzione (Paragrafo 3.2), alla definizione delle strategie di mercato (Paragrafo 3.3), alla stima delle *performance* (Paragrafo 3.4) ed alla competizione basata sulla sostenibilità (Paragrafo 3.5)¹.

3.1 LA SELEZIONE DI UN FORNITORE

La selezione di un fornitore può essere considerata come una delle fasi più importanti nei processi di acquisto presenti in un'impresa. Infatti, i recenti trend legati al business, che includono l'accorciamento del ciclo vita dei prodotti, l'incremento dei tassi di cambiamento tecnologico e l'esternalizzazione delle funzioni di Ricerca & Sviluppo evidenziano la crescente rilevanza del rapporto tra impresa e fornitore. L'implicazione

¹ I dati che verranno presentati in questo capitolo sono stati oggetto di elaborazione tramite il software di computazione statistica *R* (<https://cran.r-project.org>). Per una maggiore comprensione, si è scelto di esporre tutte le matrici comparative, mentre i calcoli alla loro base rappresentano il corpo dell'Appendice 1, che ha lo scopo di presentare lo svolgimento pratico di questo tipo di analisi.

di questi sviluppi è chiaramente che questo tipo di decisione diventa sempre più strategicamente rilevante.

L'obiettivo di questo processo è quello di determinare il fornitore ottimale (inteso come quello che ha il potenziale maggiore per andare incontro consistentemente alle necessità dell'impresa), che non necessariamente corrisponde al miglior servizio tecnico, al prezzo più basso oppure alla consegna più veloce. Nella prassi, infatti, le imprese sfruttano una molteplicità di criteri al fine di distinguere tra le offerte di potenziali fornitori.

Unitamente a metodologie operative già associate come ad esempio l'approccio VPA (*Vendor Profile Analysis*)², è possibile affiancare anche il framework dell'AHP, che permette di raggiungere risultati precisi in maniera più pratica e snellendo sensibilmente le procedure.

Di seguito verrà analizzato nel dettaglio una casistica di selezione ottimale di un fornitore³.

3.1.1 I CRITERI CHE MISURANO LA PERFORMANCE DI UN FORNITORE

È possibile confrontare differenti fornitori attraverso quattro macro-criteri:

- Qualità (Q);
- Costo (C);
- Servizio (S);
- Consegna (C).

Un'azienda può utilizzare criteri di prestazione del prodotto (Qualità) al fine di esaminare importanti funzionalità e caratteristiche del prodotto acquistato stesso. Considerando che i criteri dipendono dal tipo di prodotto in analisi, può risultare necessario esaminarne specifiche sotto-caratteristiche come l'uso finale, l'usabilità, le

² Valutazione di punti di forza e di debolezza dei fornitori attuali e potenziali in termini di capacità, fatturato, reputazione, scorte, indici, margini lordi, qualità, affidabilità, servizi, politiche di prezzi, termini di pagamento et cetera (BusinessDictionary.com, <http://www.businessdictionary.com/definition/vendor-analysis.html>).

³ R. L. Nydick, R. P. Hill, "Using the Analytic Hierarchy Process to Structure the Supplier Selection Procedure", *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 28, 1992, pagg. 31-36.

componenti ed ulteriori proprietà legate alla tipologia di business (come ad esempio il rispetto dell'ambiente).

Il secondo criterio individua gli elementi di Costo più rilevanti associati al nuovo acquisto. I più facili da riconoscere sono sicuramente il prezzo della fornitura, i costi di trasporto e le tasse. Molto spesso le analisi più approfondite uniscono anche costi di transazione e di rifiuto che, però, sono maggiormente difficili da stimare.

Il criterio legato al Servizio permette all'impresa di valutare i benefici derivanti dai servizi proposti dal fornitore. In quest'area è possibile indicare capacità e competenze come il supporto tecnico, la soddisfazione della clientela, la professionalità e l'organizzazione informativa.

La Consegna, infine, è il criterio che definisce la capacità del fornitore di elaborare determinati ordini, rispettare le scadenze e ridurre al minimo le esternalità derivanti da trasporto ed imballo.

Va ricordato fin da ora che i criteri (e la loro misurazione) devono essere sviluppati di modo che risultino usabili per tutte le alternative coinvolte nell'analisi e che riflettano i bisogni dell'impresa e della sua strategia. In questo senso potrebbe non essere un'operazione facile quella di convertire i bisogni in criteri efficaci, perché bisogni qualitativi possono collidere con la natura quantitativa dei criteri. Inoltre, alcuni criteri, seppur correttamente individuati, possono essere complessi da misurare, come si vedrà più nel dettaglio nel capitolo seguente (dove verranno analizzate alcune tecniche moderne legate all'AHP).

Tornando ai quattro criteri individuati precedentemente, è possibile ipotizzare la preponderanza di Qualità e Prezzo e, sulla base di questa ipotesi, è stata definita la matrice di confronto di seguito proposta (Tabella 3.1).

TAB. 3.1 – LA CLASSIFICAZIONE DEI CRITERI (FORNITORI)

Criteria					
	Q	P	S	C	Peso
Q	1	2	4	3	0,462
P	1/2	1	3	3	0,301
S	1/4	1/3	1	2	0,134
C	1/3	1/3	1/2	1	0,103
Totale					1,000
Indice di consistenza (max. 0,090)					0,044

Analizzando i pesi è evidente che Qualità e Prezzo fanno la differenza nella scelta del fornitore ottimale, mentre Servizio e Consegna sono secondari e all'incirca equivalenti.

3.1.2 IL CONFRONTO TRA I FORNITORI

Per il confronto si è scelto di ipotizzare quattro alternative (S1, S2, S3 e S4). Di seguito sono proposti il dettaglio delle matrici di confronto per ogni criterio individuato in precedenza (Tabella 3.2) ed il risultato aggregato di ogni alternativa (Tabella 3.3 e Figura 3.1).

TAB. 3.2 – LA VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE (FORNITORI)

Qualità (Q)					
	S1	S2	S3	S4	Peso
S1	1	5	6	1/3	0,293
S2	1/5	1	2	1/6	0,083
S3	1/6	1/2	1	1/8	0,052
S4	3	6	8	1	0,572
Totale					1,000
Indice di consistenza (max. 0,090)					0,041

Prezzo (P)					
	S1	S2	S3	S4	Peso
S1	1	1/3	5	8	0,297
S2	3	1	7	9	0,583
S3	1/5	1/7	1	2	0,075
S4	1/8	1/9	1/2	1	0,045
Totale					1,000
Indice di consistenza (max. 0,090)					0,038

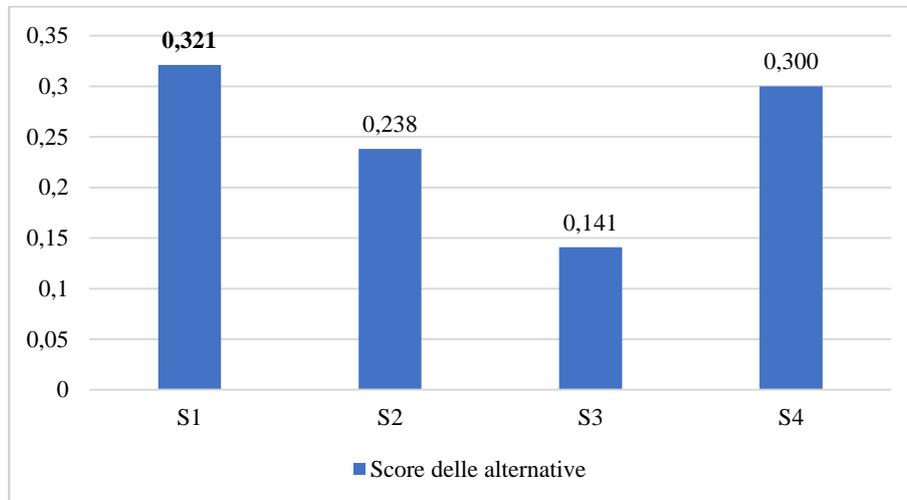
Servizio (S)					
	S1	S2	S3	S4	Peso
S1	1	5	4	8	0,607
S2	1/5	1	1/2	4	0,134
S3	1/4	2	1	5	0,211
S4	1/8	1/4	1/5	1	0,048
Totale					1,000
Indice di consistenza (max. 0,090)					0,045

Consegna (C)					
	S1	S2	S3	S4	Peso
S1	1	3	1/5	1	0,149
S2	1/3	1	1/8	1/3	0,059
S3	5	8	1	5	0,643
S4	1	3	1/5	1	0,149
Totale					1,000
Indice di consistenza (max. 0,090)					0,017

TAB. 3.3 – LO SCORE DELLE ALTERNATIVE (FORNITORI)

Alternative / Criteri					
	Q	P	S	C	Peso
S1	0,136	0,089	0,081	0,015	0,321
S2	0,038	0,175	0,018	0,007	0,238
S3	0,024	0,023	0,028	0,066	0,141
S4	0,264	0,014	0,007	0,015	0,300
Totale					1,000

FIG. 3.1 – IL CONFRONTO DELLE ALTERNATIVE (FORNITORI)



3.1.3 IL FORNITORE OTTIMALE

Basandosi sull'esempio precedente, l'azienda in questione dovrebbe scegliere il fornitore S1, il quale ha ottenuto lo score aggregato più elevato (0,321), grazie ad ottimi risultati nei pesanti criteri di Qualità e Prezzo.

Chiaramente esiste un'elevata varietà di estensioni dell'AHP che rendono questo approccio ancor più utile a livello di decisioni manageriali. Contestualizzando quest'affermazione rispetto allo scenario decisionale appena descritto, è facile evidenziare la possibilità di questo framework di ampliare le classi criteriali su più livelli e, quindi, di ampliare l'analisi ad un numero di criteri maggiore, ma raggruppati per i macro-criteri visti in precedenza, al fine di migliorare sensibilmente la qualità e la profondità della scelta effettuata.

Si può concludere, dunque, che la procedura descritta in questo paragrafo non solo è applicabile da qualsiasi impresa, ma porta a due potenziali e principali benefici che sono una chiara indicazione di quale fornitore considerare e la possibilità da parte dei manager di validare oppure rivedere decisioni già prese.

3.2 LA RIORGANIZZAZIONE DEL PROCESSO PRODUTTIVO

Le imprese, soprattutto quelle appartenenti al settore manifatturiero, da sempre si trovano di fronte a scelte produttive che influenzano direttamente sulle loro performance. Di conseguenza, la gestione strategica di queste decisioni assume una priorità centrale nel management di queste realtà.

Due recenti studi⁴⁻⁵ hanno analizzato una situazione di questo tipo, nella fattispecie in relazione alla scelta tra macchine utensili CNC a 3 e 5 assi, e forniscono il contesto giusto per l'applicazione pratica della teoria dell'AHP a decisioni di carattere produttivo.

Le macchine CNC sono macchine utensili i cui movimenti vengono controllati da un dispositivo elettronico integrato nella macchina stessa, detto controllo numerico. I movimenti e le funzioni di queste macchine sono prestabiliti, ovvero vengono pre-impostati a tavolino attraverso dei software specifici. Queste macchine sono molto diffuse nelle lavorazioni industriali per la loro capacità di lavorare tantissimi materiali, come ad esempio legno, ferro, plastica, poliuretani, EPS, XPS e metalli leggeri.

Dal punto di vista tecnico, l'area di lavoro di queste macchinari è definito come un piano cartesiano, con tre assi traslazionali (X, Y e Z) e due assi di rotazione (A e B). La maggior parte delle macchine di questo tipo presente sul mercato offre solo una lavorazione basata sui 3 assi traslazionali (X, Y e Z), ma negli ultimi anni si è evidenziato un trend consistente riguardante le macchine utensili a 5 assi (X, Y, Z, A e B). Quest'ultime permettono di raggiungere forme di lavorazione più complesse, con una precisione maggiore e con un tempo di lavorazione spesso drasticamente ridotto. Il rovescio della medaglia è che i prezzi dei macchinari a 5 assi sono decisamente maggiori, richiedono un capitale umano maggiormente specializzato e necessitano dell'utilizzo di software produttivi (CAM) che vantano costi di licenza più elevati.

⁴ O. Bologna, R. Breaz, S. Racz, M. Crenganiş, "Decision-making tool for moving from 3-axes to 5-axes CNC machine-tool", *Procedia Computer Science*, 91, 2016, pagg. 184-192.

⁵ O. Bologna, R. Breaz, S. Racz, M. Crenganiş, "Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) in evaluating the decision of moving to a manufacturing process based upon continuous 5 axes CNC machine-tools", *Procedia Computer Science*, 91, 2016, pagg. 683-689.

Riassumendo, si delinea un classico tradeoff tra costi e qualità della produzione.

3.2.1 I CRITERI CHE INCIDONO SULLA PERFORMANCE PRODUTTIVA

Date le considerazioni fatte in precedenza, è possibile strutturare il problema decisionale secondo i seguenti criteri:

- Tempo di setup (C1): ovvero il tempo totale necessario per il fissaggio dei pezzi sul macchinario, in quanto va considerando che sono necessari più dispositivi per ogni lavorazione;
- Livello di formazione del personale (C2): riguardante la quantità e la qualità delle conoscenze necessarie all'utilizzo operativo di sistemi tecnologici come le macchine CNC (questo input è definito come una stima complessiva del livello di addestramento degli operatori);
- Geometria delle parti (C3): concerne la complessità del prodotto finito, con rispetto agli attuali compiti di produzione del laboratorio in un determinato periodo di tempo;
- Accuratezza delle parti (C4): ovvero il livello di precisione imposto dai clienti;
- Costi (C5): associati sia al costo dei macchinari, sia al costo di licenza dei software CAM, che al costo di formazione degli operatori ed al complesso di *switching-costs* associati al passaggio da un macchinario a 3 assi ad uno a 5 o viceversa (questo elemento di confronto è strutturato come una combinazione dei quattro sotto elementi appena citati).

Di seguito si propone la matrice di comparazione dei criteri (Tabella 3.4).

TAB. 3.4 – LA CLASSIFICAZIONE DEI CRITERI (PRODUZIONE)

Criteria						
	C1	C2	C3	C4	C5	Peso
C1	1	7	3	3	9	0,455
C2	1/7	1	1/7	1/7	1	0,038
C3	1/3	7	1	3	9	0,290
C4	1/3	7	1/3	1	9	0,185
C5	1/9	1	1/9	1/9	1	0,032
Totale						1,000
Indice di consistenza (max. 0,112)						0,089

Risulta evidente la scelta da un lato di privilegiare il “costo” relativo al setup dei macchinari, che incide pesantemente sulle performance economiche della produzione, dall’altro di dare un peso relativamente consistente alla qualità della produzione, quindi ai criteri di accuratezza e geometria delle parti prodotte. È altresì indicativo, a conferma dell’ultima affermazione, il peso molto contenuto del criterio relativo al costo complessivo, che è possibile giustificare con la necessità delle imprese di competere sul terreno dell’innovazione e non su quello dei prezzi (contenendo meramente i costi).

3.2.2 IL CONFRONTO TRA I MACCHINARI

Da un punto di vista pratico, il problema della modernizzazione di una lavorazione basata su machine CNC può essere considerato come una decisione di tra tre varianti, piuttosto che due (3 assi contro 5 assi).

La prima variante (V1) prevede l'utilizzo di sole macchine utensili CNC a 3 assi, tenendo conto che la maggior parte delle lavorazioni possono essere elaborate su questo tipo di macchine, con costi di installazione minori e, teoricamente, una minore precisione e complessità geometrica.

La seconda variante (V2), invece, prevede l'utilizzo di macchine utensili a controllo numerico a 5 assi, dove, però, i movimenti rotazionali vengono eseguiti solo al di fuori del processo di lavorazione. Questi macchinari (e di conseguenza i loro processi) sono denominati macchine utensili CNC 3+1 e 3+2. Il tempo di installazione è

drasticamente ridotto, la complessità geometrica e la precisione delle parti è aumentata, unitamente a costi di formazione e di acquisizione. Infine, la terza alternativa (V3) prevede l'uso di macchine utensili CNC a 5 assi continue, in cui i movimenti traslazionali e rotazionali vengono eseguiti durante il processo di lavorazione. Il tempo di installazione, la complessità geometrica e la precisione delle parti è più vantaggiosa in questa situazione, ma i costi sono, in termini assoluti, i più elevati. Di seguito sono proposti il dettaglio delle matrici di confronto per ogni criterio individuato in precedenza (Tabella 3.5) ed il risultato aggregato delle tre alternative (Tabella 3.6 e Figura 3.2).

TAB. 3.5 – LA VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE (PRODUZIONE)

Tempo di setup (C1)				
	V1	V2	V3	Peso
V1	1	1/7	1/9	0,055
V2	7	1	1/3	0,290
V3	9	3	1	0,655
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,040

Livello di formazione del personale (C2)				
	V1	V2	V3	Peso
V1	1	1/7	1/9	0,051
V2	7	1	1/5	0,227
V3	9	5	1	0,722
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,010

Geometria delle parti (C3)				
	V1	V2	V3	Peso
V1	1	1/5	1/9	0,063
V2	5	1	1/3	0,265
V3	9	3	1	0,672
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,015

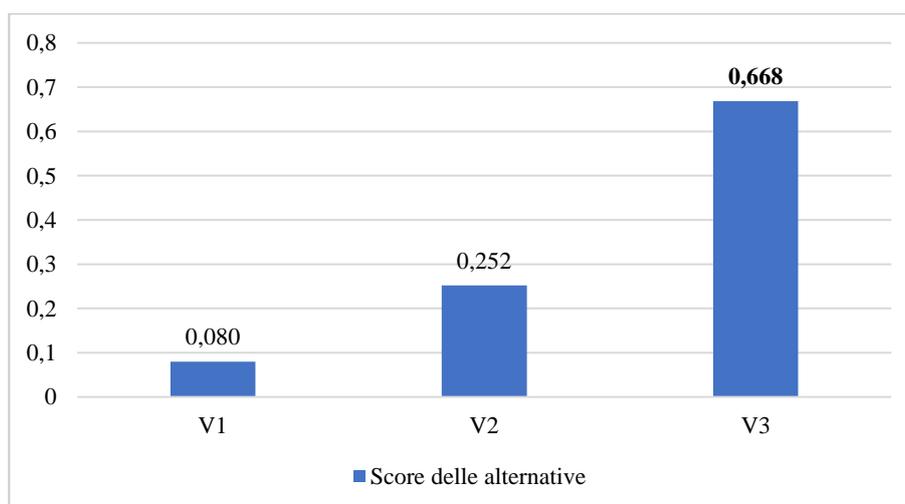
Accuratezza delle parti (C4)				
	V1	V2	V3	Peso
V1	1	1/5	1/9	0,055
V2	5	1	1/7	0,173
V3	9	7	1	0,772
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,010

Costi (C5)				
	V1	V2	V3	Peso
V1	1	7	9	0,790
V2	1/7	1	1/3	0,072
V3	1/9	3	1	0,138
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,010

TAB. 3.6 – LO SCORE DELLE ALTERNATIVE (PRODUZIONE)

Alternative / Criteri						
	C1	C2	C3	C4	C5	Peso
V1	0,025	0,002	0,018	0,010	0,025	0,080
V2	0,132	0,009	0,077	0,032	0,002	0,252
V3	0,298	0,027	0,195	0,143	0,005	0,668
Totale						1,000

FIG. 3.2 – IL CONFRONTO DELLE ALTERNATIVE (PRODUZIONE)



3.2.3 IL PROCESSO PIÙ PERFORMANTE

La preferenza ricade in maniera evidente sul macchinario CNC a 5 assi continue, con un risultato aggregato complessivo di circa il 67% della preferenza assoluta.

È chiaro che la forza di questa alternativa deriva dall'aver primeggiato in tutti i criteri, meno quello relativo al costo, come previsto. Il risultato è, quindi, consistente e coerente rispetto alle considerazioni ambientali iniziali.

Va notato, comunque, che una variazione di qualche punto percentuale del peso dei criteri a favore della prima alternativa (effettuando un cosiddetto controllo di sensibilità) non avrebbe modificato in maniera sostanziale il risultato finale.

3.3 LA DEFINIZIONE DI UNA STRATEGIA DI MERCATO

Come si è sottolineato nell'Introduzione di questo elaborato, la materia economica della strategia si è evoluta in modo sostanziale negli ultimi venticinque anni.

Dal punto di vista teorico si sono sviluppati diversi nuovi filoni di ricerca che hanno reso la materia al tempo stesso più complessa e completa. Dal punto di vista pratico, invece, le imprese hanno imparato ad analizzare il loro ambiente competitivo, definire la loro posizione, sviluppare vantaggi competitivi e comprendere / prevedere i loro pericoli e le loro minacce, al fine di rendere sostenibile il loro vantaggio.

Inoltre, i recenti sviluppi nell'economia globale hanno cambiato il tradizionale equilibrio tra cliente e fornitore. Infatti, le nuove tecnologie di comunicazione e informazione e l'istituzione di regimi commerciali globali ragionevolmente aperti, hanno fatto sì che i clienti accedano a più possibilità di scelta, rendendo contestualmente le transazioni maggiormente trasparenti. Le aziende, quindi, devono essere più incentrate sul cliente e, grazie all'evoluzione sostanziale della tecnologia, si è arrivati ad un'offerta che in molti settori ha abbassato le pretese economiche aggiungendo soluzioni di qualità differente destinate a diversi segmenti di clientela.

Una comprensione più completa delle richieste permette di risolvere alcuni dei problemi legati alla complessità dei fattori che influenzano il comportamento dei consumatori ed il cambiamento delle loro scelte nel lungo periodo. Infatti, si sono dimostrate diverse relazioni tra stimoli esterni, caratteristiche del consumatore, andamento del processo decisionale e reazione espressa nelle scelte. Ovviamente, però, la mera indagine sul comportamento del consumatore è complicata e non sempre perseguibile.

Di conseguenza, risulta maggiormente produttivo concentrarsi sulla definizione di una corretta strategia aziendale. L'analisi proposta nei prossimi paragrafi è basata su un recente studio⁶ che ha coinvolto l'industria degli elettrodomestici irachena (caratterizzata da una notevole varietà e completezza della domanda), focalizzandosi sulla differenza di approccio e di risultato tra un'analisi SWOT ed un'applicazione metodologica dell'AHP.

3.3.1 I CRITERI CHE CLASSIFICANO UNA STRATEGIA

Una strategia di mercato può essere valutata secondo tre fattori: il tempo, il costo ed il profitto.

Il criterio del tempo (T) si riferisce alla forbice temporale necessaria all'impresa per mettere in pratica effettivamente la strategia scelta. Questo, chiaramente, tiene conto delle attività di formazione della strategia, della definizione del suo contenuto e, infine, della sua pianificazione.

Gli altri due parametri, invece, fanno riferimento al costo (C) che l'impresa sostiene per strutturare, implementare e mantenere attiva la strategia definita ed ai profitti (P) che la strategia rende all'impresa.

Di seguito si propone la matrice di comparazione dei criteri (Tabella 3.7).

⁶ A. Riahi, M. Moharrampour, "Evaluation of Strategic Management in Business with AHP Case Study: PARS House Appliance", *Procedia Economics and Finance*, 36, 2016, pagg. 10-21.

TAB. 3.7 – LA CLASSIFICAZIONE DEI CRITERI (STRATEGIA)

Criteria				
	T	C	P	Peso
T	1	1/4	1/4	0,112
C	4	1	1	0,444
P	4	1	1	0,444
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,001

È evidente che i criteri relativi ai flussi economici in entrata ed uscita abbiano ugual peso e maggior attrattività, al contrario del tempo che risulta un parametro sì secondario, ma comunque da non sottovalutare.

3.3.2 IL CONFRONTO TRA LE STRATEGIE

Le strategie competitive e le strategie di crescita sono strettamente correlate l'una con l'altra. In ogni caso, lo scopo principale è quello di rendere l'organizzazione diversa dalla concorrenza e rendere i clienti soddisfatti. Sostanzialmente le imprese competono sul mercato in due modi:

- Proporre prodotti e/o servizi ad un costo inferiore (strategia di costo);
- Proporre prodotti e/o servizi differenti da ogni altra proposta presente sul mercato (strategia di differenziazione).

Chiaramente, un vantaggio competitivo ancor maggiore è perseguibile grazie ad una combinazione di entrambe le strategie, anche se molto spesso è una via non perseguibile per svariati fattori. Inoltre, non ha nemmeno troppa importanza la grandezza del mercato, in quanto che sia grande o piccolo, l'obiettivo è differenziarsi oppure produrre a costi più bassi della concorrenza.

Per quanto concerne la strategia di differenziazione (D), la produzione di prodotti diversi può derivare da forme di innovazione del prodotto, dalla sua qualità oppure dai suoi servizi accessori. In questa prospettiva, i clienti saranno disposti a pagare più denaro per caratteristiche differenti; dall'altra parte, però, produrre ad un livello qualitativo maggiore o, più in generale, innovare, costa spesso molte risorse

all'impresa. La strategia di differenziazione permette la ricezione di prezzi più elevati, associati a costi anch'essi più alti.

La strategia di costo (C), invece, aiuta l'organizzazione a ridurre il prezzo nel mercato competitivo. Il punto focale è quello di ridurre i costi, attraverso attività legate a: economie di scala, economia di gamma, economie di scopo, economie di apprendimento, particolari politiche di prodotto, sfruttamento di determinate tecnologie produttive, costo degli input produttivi oppure forme di efficienza residua.

Porter⁷ nel 1985 ha, infine, individuato un terzo tipo di strategia competitiva definita *focus* (F). Nell'adottare questa strategia, l'azienda si concentra idealmente su alcuni segmenti di clientela, ossia gruppi distinti con esigenze specifiche. La scelta di offrire prezzi bassi oppure prodotti / servizi differenziati dovrebbe dipendere dalle esigenze del segmento selezionato e dalle risorse e dalle capacità dell'azienda. In linea teorica, concentrando gli sforzi di marketing su uno oppure due segmenti di mercato ristretti e adattando il proprio marketing mix, è possibile soddisfare al meglio le esigenze dei segmenti selezionati.

Di seguito sono proposti il dettaglio delle matrici di confronto per ogni criterio individuato in precedenza (Tabella 3.8) ed il risultato aggregato delle tre alternative (Tabella 3.9 e Figura 3.3).

TAB. 3.8 – LA VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE (STRATEGIA)

Tempo (T)				
	C	D	F	Peso
C	1	1/2	1/4	0,143
D	2	1	1/2	0,286
F	4	2	1	0,571
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,001

⁷ M. E. Porter, "The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance", NY: Free Press, 1985.

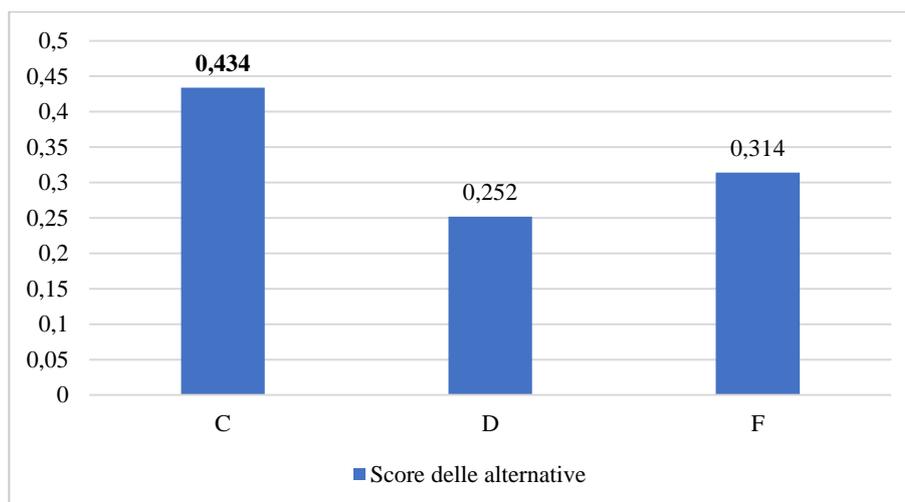
Costo (C)				
	C	D	F	Peso
C	1	2	1	0,400
D	1/2	1	1/2	0,200
F	1	2	1	0,400
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,001

Profitto (P)				
	C	D	F	Peso
C	1	2	3	0,540
D	1/2	1	2	0,297
F	1/3	1/2	1	0,163
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,004

TAB. 3.9 – LO SCORE DELLE ALTERNATIVE (STRATEGIA)

Alternative / Criteri				
	T	C	P	Peso
C	0,016	0,178	0,240	0,434
D	0,032	0,088	0,132	0,252
F	0,064	0,178	0,072	0,314
Totale				1,000

FIG. 3.3 – IL CONFRONTO DELLE ALTERNATIVE (STRATEGIA)

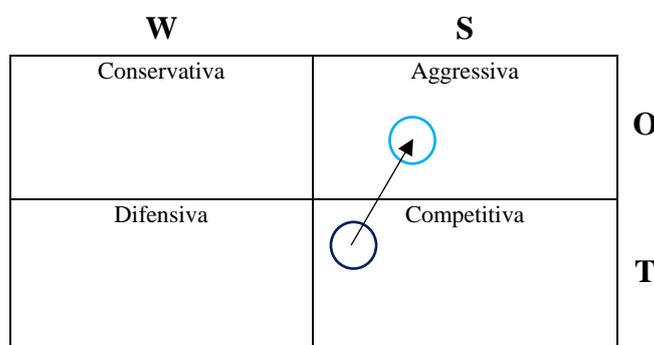


3.3.3 LA STRATEGIA VINCENTE: SWOT VS AHP

Il risultato dell'analisi elaborata con la metodologia dell'AHP dichiara che la strategia migliore per questo mercato è quella di costo, con una percentuale di circa il 44%.

È interessante notare la differenza di risultato, se confrontata con un'analisi effettuata con lo strumento SWOT⁸ (Figura 3.4). Si può interpretare questo dato come la necessità di un miglioramento della strategia competitiva, a favore di una forma di competizione maggiormente aggressiva.

FIG. 3.4 – IL CONFRONTO DEI RISULTATI DELLE ANALISI AHP E SWOT



In blu scuro il risultato dell'analisi SWOT; in azzurro il risultato dell'analisi AHP.

3.4 LA STIMA DELLA PERFORMANCE DI UN SETTORE

Una delle attività chiave nel mondo del management è certamente l'analisi delle performance, eseguita grazie alla stima di indicatori critici. L'utilità di questa attività non si esaurisce solamente nell'ambito della gestione privata d'impresa, ma è altrettanto rilevante nel settore pubblico e, sotto questo punto di vista, non stupisce come il Decreto

⁸ L'analisi SWOT è uno strumento di pianificazione strategica usato per valutare i punti di forza (Strengths), i punti di debolezza (Weaknesses), le opportunità (Opportunities) e le minacce (Threats) di un progetto o in un'impresa o in ogni altra situazione in cui un'organizzazione o un individuo debba svolgere una decisione per il raggiungimento di un obiettivo. L'analisi può riguardare l'ambiente interno (punti di forza e debolezza) o esterno di un'organizzazione (minacce ed opportunità) (Wikipedia.org, https://it.wikipedia.org/wiki/Analisi_SWOT).

legislativo 150/2009⁹ del Governo Italiano abbia introdotto definitivamente questo concetto nella Pubblica Amministrazione.

Spostandosi, però, di qualche migliaia di chilometri è interessante recuperare un recente elaborato accademico¹⁰ che ha analizzato questa problematica nel settore dei trasporti pubblici tunisino, affiancandolo a valutazioni multi-criteriali strutturate secondo il modello dell'AHP.

Il settore dei trasporti stradali in Tunisia è molto ampio e caratterizzato da una certa diversità nella gestione delle autorità istituzionali e dei diversi operatori privati in aree urbane. Le principali preoccupazioni del governo tunisino convergono su alcune tematiche, in particolare: il costante aumento dell'inquinamento derivante dagli spostamenti su strada, l'insufficienza della pianificazione spaziale dello sviluppo urbano, la necessità di aumento della flotta di matrice pubblica, la congestione delle città ed il declino dello sfruttamento del trasporto pubblico da parte dei cittadini.

Il trasporto pubblico, quindi, ha un ruolo determinante nell'attuazione effettiva di queste politiche, ma bisogna fare i conti con una serie di gravissime difficoltà economiche e con la crisi finanziaria che ne impediscono uno sviluppo sostenibile.

L'analisi delle prestazioni è diventata un elemento essenziale nella gestione del settore. Tuttavia, il concetto di prestazioni è esteso, infatti copre allo stesso tempo; i costi, la qualità del trasporto, la soddisfazione dell'utente e risultati finanziari. La costruzione di indicatori di valutazione e di monitoraggio dell'utilità permette di garantire una buona governance nella gestione delle risorse e del budget.

3.4.1 I CRITERI CHE DETERMINANO UNA PERFORMANCE

Il termine performance è frequentemente utilizzato nel settore dei trasporti. Questo concetto si riferisce spesso a diversi criteri combinati per risolvere il problema della redditività. È possibile definire la performance pubblica come il raggiungimento di un obiettivo primario,

⁹ Decreto legislativo del 27 ottobre 2009, n. 150, in materia di ottimizzazione della produttività del lavoro pubblico e di efficienza e trasparenza delle pubbliche amministrazioni.

¹⁰ Y. Boujelbene, A. Derbel, "The performance analysis of public transport operators in Tunisia using AHP method", *Procedia Computer Science*, 73, 2015, pagg. 498-508.

ovvero, l'ottimizzazione dei servizi forniti ai cittadini. I criteri scelti sono elencati e descritti di seguito.

Il criterio economico (EC) misura l'economicità pubblica delle aziende coinvolte nel settore e si distingue in due sotto-attributi: il tasso di copertura, che misura l'indipendenza economica delle aziende ed individua la sostenibilità del trasporto pubblico rispetto al contributo finanziario degli utenti; gli investimenti, in quanto nel settore dei trasporti pubblici sono spesso molto ingenti, nonostante dipendano dalla combinazione della densità dell'area urbana coinvolta e dalla modalità di trasporto proposta.

Il criterio dell'efficienza (EI), dal punto di vista dei cittadini, confronta la loro aspettativa con i risultati ottenuti sul campo. Si compone di tre attributi secondari, che sono la capacità di trasporto ogni mille abitanti, il profitto per dipendente ed il profitto per numero di veicoli.

Il criterio dell'efficacia (EA), posto dal punto di vista del contribuente, si concentra sull'ottimizzazione dei mezzi impiegati, mettendo in relazione il prodotto dell'offerta proposta con le risorse consumate. In generale, infatti, l'efficacia è definita come l'ottimizzazione tra le risorse mobilitate e i risultati ottenuti, differendo dall'efficienza che, come detto, misura il raggiungimento degli obiettivi fissati con i risultati ottenuti. L'efficacia si divide in produttività delle risorse (capitale e lavoro) ed efficacia commerciale (o tasso di utilizzo).

Infine, il criterio della qualità (QA) misura il livello del servizio fornito all'utente. È un elemento di fondamentale importanza nella gestione dei servizi, in quanto permette di stimare il grado di soddisfazione del cliente. In altre parole, la qualità del servizio definisce il livello di soddisfazione atteso dal cliente in base alla capacità dell'organizzazione. Si articola in qualità del servizio, chilometri per abitante, chilometri per tratta, disponibilità e anzianità dei mezzi che compongono la flotta.

Di seguito è proposta la matrice di confronto dei criteri (Tabella 3.10).

TAB. 3.10 – LA CLASSIFICAZIONE DEI CRITERI (PERFORMANCE)

Criteria					
	EC	EI	EA	QA	Peso
EC	1	5	4	3	0,546
EI	1/5	1	1/2	1/3	0,084
EA	1/4	2	1	1/2	0,138
QA	1/3	3	2	1	0,232
Totale					1,000
Indice di consistenza (max. 0,090)					0,017

Nel mondo del management pubblico è chiaro che l'economicità di un'operazione prenda il sopravvento, come si evince dal 55% di rilevanza del criterio economico. Chiudono il podio i criteri della qualità e dell'efficacia, più sotto quello relativo all'efficienza.

3.4.2 IL CONFRONTO TRA GLI OPERATORI

L'idea è quella di analizzare e confrontare le prestazioni di diversi operatori determinando il più efficiente sul territorio. Sono stati selezionati quattro operatori del trasporto urbano, ovvero, Transtu¹¹ (TR) operante nel territorio di Tunisi, Soretras¹² (SO) operante nel territorio di Sfax, STS¹³ (ST) operante nel territorio di Sahel e SRTGN¹⁴ (SR) operante a Nabeul, relativamente a dati del 2014.

Di seguito sono proposti il dettaglio delle matrici di confronto per ogni criterio individuato in precedenza (Tabella 3.11) ed il risultato aggregato delle tre alternative (Tabella 3.12 e Figura 3.5).

¹¹ Transtu Tunisie (<http://www.transtu.tn>).

¹² Soretras (<http://www.soretras.com.tn>).

¹³ STS (<http://www.stsahel.com.tn>).

¹⁴ SRTGN (<http://www.srtgn.com.tn>).

TAB. 3.11 – LA VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE (PERFORMANCE)

Economicità (EC)					
	TR	SO	ST	SR	Peso
TR	1	1/3	1/3	1/7	0,052
SO	3	1	1/2	1/6	0,127
ST	3	2	1	1/5	0,184
SR	7	6	5	1	0,637
Totale					1,000
Indice di consistenza (max. 0,090)					0,072

Efficienza (EI)					
	TR	SO	ST	SR	Peso
TR	1	3	4	2	0,450
SO	1/3	1	2	1/2	0,151
ST	1/4	1/2	1	1/4	0,084
SR	1/2	4	2	1	0,315
Totale					1,000
Indice di consistenza (max. 0,090)					0,072

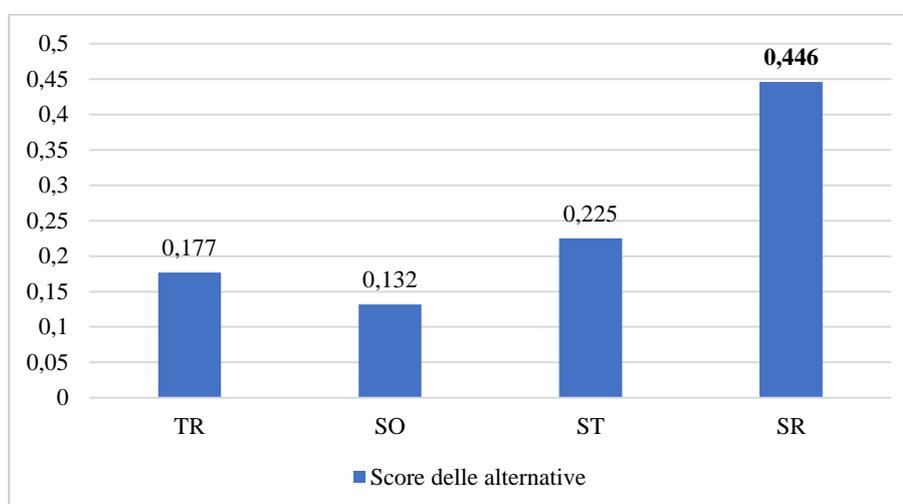
Efficacia (EA)					
	TR	SO	ST	SR	Peso
TR	1	1/2	1/4	1/3	0,096
SO	2	1	1/3	1/2	0,160
ST	4	3	1	2	0,467
SR	3	2	1/2	1	0,277
Totale					1,000
Indice di consistenza (max. 0,090)					0,010

Qualità (QA)					
	TR	SO	ST	SR	Peso
TR	1	3	2	2	0,424
SO	1/3	1	1/2	1/2	0,122
ST	1/2	2	1	1	0,227
SR	1/2	2	1	1	0,227
Totale					1,000
Indice di consistenza (max. 0,090)					0,003

TAB. 3.12 – LO SCORE DELLE ALTERNATIVE (PERFORMANCE)

Alternative / Criteri	EC	EI	EA	QA	Peso
TR	0,028	0,038	0,013	0,098	0,177
SO	0,069	0,013	0,022	0,028	0,132
ST	0,101	0,007	0,064	0,053	0,225
SR	0,348	0,027	0,038	0,053	0,466
Totale					1,000

FIG. 3.5 – IL CONFRONTO DELLE ALTERNATIVE (PERFORMANCE)



3.4.3 L'ANALISI DELLE CRITICITÀ

Dall'analisi gerarchica è possibile acclamare SRTGN come migliore compagnia del settore dei traposti pubblici stradali della Tunisia, dimostrando di aver trovato il giusto compromesso tra qualità del servizio e struttura dei costi. È evidente che lo *share* di oltre il 60% nel campo del criterio economico ha fatto la differenza.

Chiaramente la misurazione delle performance è utile se i risultati vengono confrontati con degli obiettivi: questo permette di capire le criticità ed i fallimenti di mercato del settore, al fine di formulare le giuste osservazioni per migliorare.

Nel caso del mercato tunisino, si potrebbero proporre le seguenti indicazioni ai regolatori:

- Incoraggiare le persone all'utilizzo dei mezzi pubblici, proponendo i giusti incentivi;

- Puntare a ridurre il numero di persone che tendono ad usare l'auto nelle ore di punta;
- Sviluppare forme di trasporto multimodale, rendendo gli spostamenti multi-mezzo più accessibili ai cittadini;
- Migliorare la condivisione del potere decisionale e finanziario tra Ministero dei Trasporti ed autorità regolatrici, di modo da migliorare l'efficienza del settore riducendo gli sprechi.

3.5 LA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ PRODUTTIVA

La sostenibilità produttiva (concetto nato intorno al 1970-1980) è un termine usato per descrivere pratiche di fabbricazione che non danneggiano l'ambiente, durante qualsiasi parte del processo di produzione.

Si fa riferimento, quindi, a processi che non inquinano l'ambiente e non danneggiano i consumatori, i dipendenti o altri membri della comunità. Le attività legate alla produzione sostenibile includono il riciclo, la conservazione di determinati fattori produttivi e semilavorati, la gestione dei rifiuti, l'approvvigionamento idrico, la protezione ambientale, la conformità alle normative ambientali, il controllo dell'inquinamento e una varietà di ulteriori problematiche correlate a quelle appena elencate. In sintesi, il concetto chiave è quello di progettare e fornire prodotti che riducano al minimo gli effetti negativi sull'ambiente. È interessante notare che uno dei fattori che hanno spinto a favore di queste pratiche sostenibili è sicuramente la globalizzazione, che ha costretto le aziende a migliorare le loro prestazioni ambientali per mantenere elevata la loro competitività nel mercato globale.

La produzione e, più in generale, tutte le operazioni sostenibili sono diventate una questione cruciale nello scenario attuale per le aziende manifatturiere. Oggi, queste sono particolarmente interessate a diventare sostenibili in tutti e tre gli aspetti coinvolti nella competizione, ossia quello economico, quello sociale e quello ambientale. Ci numerose pratiche di fabbricazione sostenibile, come l'*eco-design*, la *green supply chain* oppure il recupero dei prodotti,

tramite le quali le imprese riescono a raggiungere elevati livelli di sostenibilità.

Un recente studio¹⁵, basato sull'applicazione tradizionale dell'AHP, ha coinvolto tre note imprese indiane impegnate nella produzione di pannelli elettrici, indagando sulla loro gestione della sostenibilità produttiva e sul modo in cui raggiungono la competitività nel mercato.

3.5.1 I CRITERI CHE IDENTIFICANO LE PRATICHE SOSTENIBILI

Le pratiche di fabbricazione sostenibile più significative sono identificate dalla letteratura e organizzate in sette aree principali, ovvero: eco-design, progettazione dei processi produttivi, pratiche snelle, *green supply chain*, recupero dei prodotti e produzione "pulita". L'*eco-design* (ED) ha il potenziale per contribuire alla sostenibilità del prodotto, nonostante la letteratura lo confini troppo spesso al mantenimento dei requisiti minimi di legge. Fornisce fattori importanti legati alle scelte di progettazione e di sviluppo del prodotto e diventa un importante strumento per la valutazione del ciclo vita del prodotto stesso.

La progettazione dei processi (PD) è ugualmente importante per la sostenibilità. I processi di produzione, infatti, dovrebbero essere progettati per ridurre al minimo il consumo di energia e di risorse, le emissioni atmosferiche e la generazione di rifiuti solidi e liquidi. Un fattore fondamentale diventa l'innovazione di processo, che permette alle imprese di sfruttare tecnologie di produzione avanzate che sono altamente associate all'ottimizzazione dei parametri di lavorazione che puntano alla sostenibilità.

Le cosiddette pratiche snelle (LS) sono molto importanti per lo sviluppo sostenibile e riguardano una cultura di gestione ottimizzata e snella delle pratiche di produzione e progettazione. Le ricerche in merito hanno evidenziato alcune criticità, per lo più in relazione allo sviluppo di un modello che affronti correttamente i problemi di prestazione

¹⁵ S. Gupta, G. S. Dangayach, A. K. Singh, P. N. Rao, "Analytic Hierarchy Process (AHP) Model for Evaluating Sustainable Manufacturing Practices in Indian Electrical Panel Industries", *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 189, 2015, pagg. 208-216.

ambientale. È evidente che i risultati migliori si ottengono quando molteplici forme di *lean practices* sono implementate contemporaneamente piuttosto che separatamente.

La catena di approvvigionamento verde (GSM) è definita come “l'estensione della catena di approvvigionamento tradizionale, al fine di includere attività volte a ridurre al minimo gli impatti ambientali di un prodotto durante tutto il suo ciclo di vita, come la progettazione ecologica, il risparmio di risorse, la riduzione dei materiali dannosi ed il riciclo o riutilizzo dei prodotti”. La mancanza di consenso sulle iniziative legate alla *green supply chain* è dovuto al fatto che è area di studio molto recente, di conseguenza la teoria è ancora sotto-sviluppata. L'operazione di recupero dei prodotti (PR) è ampiamente riconosciuta e praticata come alternativa ecologica alla produzione di nuovi prodotti al 100%, riutilizzando componenti e materiali derivanti da quelli a fine vita. Il recupero del materiale e del prodotto viene effettuato principalmente per tre motivi: il valore economico nascosto dei rifiuti solidi, il fabbisogno del mercato e le forme di regolamentazione governativa. Le operazioni di recupero del materiale includono principalmente l'attività di smontaggio per la separazione e l'elaborazione dei materiali.

Infine, la produzione “pulita” (CP) è un concetto nato al fine di dimostrare che la prevenzione o la riduzione di rifiuti ed emissioni alla fonte possono migliorare le prestazioni ambientali e economiche di un'organizzazione. La produzione “pulita” è caratterizzata da un approccio al tempo stesso metodologico e creativo.

Di seguito si propone la matrice di comparazione dei criteri (Tabella 3.13).

TAB. 3.13 – LA CLASSIFICAZIONE DEI CRITERI (SOSTENIBILITÀ)

Criteria							
	ED	PD	LS	GSM	PR	CP	Peso
ED	1	3	4	4	1/2	6	0,273
PD	1/3	1	2	1	1/4	5	0,118
LS	1/4	1/2	1	3	1/5	7	0,120
GSM	1/4	1	1/3	1	1/4	5	0,084
PR	2	4	5	4	1	5	0,374
CP	1/6	1/5	1/7	1/5	1/5	1	0,031
Totale							1,000
Indice di consistenza (max. 0,124)							0,123

La prevalenza del criterio relativo alle pratiche di recupero dei prodotti è molto evidente, raggiungendo un risultato di oltre il 35%. È seguito dalle iniziative di *eco-design* (27%), mentre incide negativamente sul risultato della produzione pulita (3%) la poca praticità di queste operazioni.

3.5.2 IL CONFRONTO TRA LE IMPRESE

Per il confronto si è scelto di considerare le tre imprese più rilevanti del mercato (per comodità sono state rinominate in EP1, EP2 e EP3). Di seguito sono proposti il dettaglio delle matrici di confronto per ogni criterio individuato in precedenza (Tabella 3.14) ed il risultato aggregato di ogni alternativa (Tabella 3.15 e Figura 3.6).

TAB. 3.14 – LA VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE (SOSTENIBILITÀ)

Eco-design (ED)				
	EP1	EP2	EP3	Peso
EP1	1	3	1/2	0,320
EP2	1/3	1	1/4	0,122
EP3	2	4	1	0,558
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,009

Progettazione dei processi (PD)				
	EP1	EP2	EP3	Peso
EP1	1	1/6	1/3	0,100
EP2	6	1	2	0,600
EP3	3	1/2	1	0,300
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,001

Pratiche snelle (LS)				
	EP1	EP2	EP3	Peso
EP1	1	3	1/4	0,205
EP2	1/3	1	1/8	0,078
EP3	4	8	1	0,717
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,009

Catena di approvvigionamento verde (GSM)				
	EP1	EP2	EP3	Peso
EP1	1	5	1/4	0,237
EP2	1/5	1	1/8	0,064
EP3	4	8	1	0,699
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,047

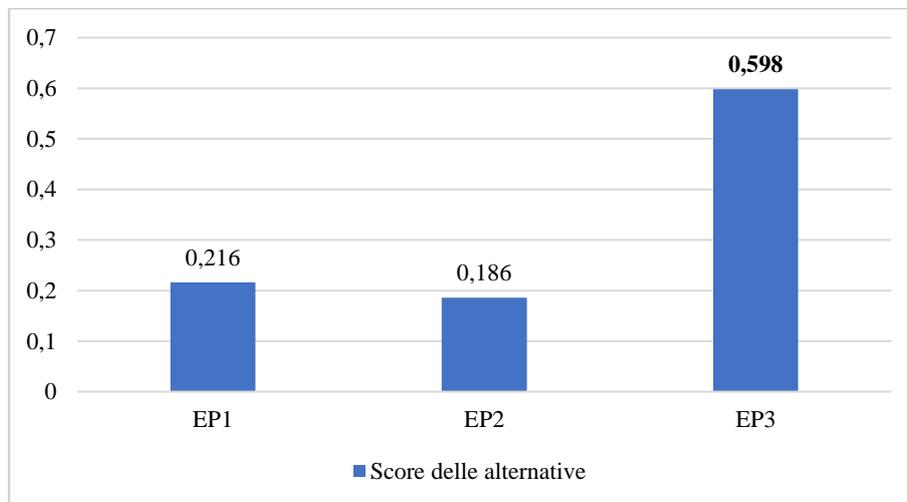
Recupero dei prodotti (PR)				
	EP1	EP2	EP3	Peso
EP1	1	1	1/3	0,185
EP2	1	1	1/5	0,156
EP3	3	5	1	0,659
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,014

Produzione "pulita" (CP)				
	EP1	EP2	EP3	Peso
EP1	1	1/4	1/8	0,077
EP2	4	1	1/2	0,308
EP3	8	2	1	0,615
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,001

TAB. 3.15 – LO SCORE DELLE ALTERNATIVE (SOSTENIBILITÀ)

Alternative / Criteri							
	ED	PD	LS	GSM	PR	CP	Peso
EP1	0,088	0,012	0,025	0,020	0,069	0,002	0,216
EP2	0,033	0,071	0,009	0,005	0,058	0,010	0,186
EP3	0,152	0,035	0,086	0,059	0,247	0,019	0,598
Totale							1,000

FIG. 3.6 – IL CONFRONTO DELLE ALTERNATIVE (SOSTENIBILITÀ)



3.5.3 L'ANALISI DEI RISULTATI

I risultati eccellenti in quasi tutti i criteri di confronto hanno permesso all'impresa EP-3 di raggiungere un gradimento assoluto di quasi il 60%, soprattutto derivante dai campi dell'*eco-design* e del recupero dei prodotti.

Dal momento, quindi, che la competitività nel settore deriva in parte dal raggiungimento di elevate *performance* nella sostenibilità produttiva, le imprese EP-1 e EP-2 dovrebbero poter sfruttare un'analisi di questo tipo per capire su quali attività sostenibili bisogna investire maggiormente, al fine di ridurre il *gap* con l'impresa vincitrice del confronto.

4 LE METODOLOGIE MODERNE: TEORIA ED ESEMPI

4.1 Le tecniche moderne – 4.2 Le generalizzazioni del teorema di Perron-Frobenius

Nel capitolo precedente è stata presentata la metodologia applicativa tradizionale dell'AHP, con l'inserimento di alcuni esempi derivanti da situazioni di management differenti.

Si è, inoltre, già avuto modo di evidenziare la malleabilità dello strumento, la cui unica grande criticità risiede nella capacità di analisi del decisore umano. Sebbene l'applicazione tradizionale sia più che sufficiente nella gran parte dei casi da gestire, ci sono delle casistiche più complesse che necessitano giocoforza di sistemi più raffinati ed elaborati.

È proprio in questi contesti che si sono sviluppati alcuni filoni di ricerca che hanno permesso da un lato di evolvere l'AHP ed affiancarla ad altre tecniche che ne aumentano esponenzialmente la capacità risolutiva, dall'altro di generalizzare il teorema di *Perron-Frobenius*. Nel primo di caso si definiscono delle vere e proprie tecniche moderne, quelle discusse di seguito sono la *Delphic Hierarchy Process* (DHP), la *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* (F-AHP) e l'*Analytic Network Process* (ANP)¹. Se le prime due rappresentano la fusione di due metodi applicativi (*Delphi Method*²⁻³ e AHP; *Fuzzy Logic*⁴ e AHP), la terza, invece, è la diretta estensione della logica dell'AHP definita dal suo stesso inventore T. L. Saaty. Nel secondo caso, piuttosto che di tecniche moderne si parla di generalizzazioni del teorema sul quale l'AHP si basa, che permettono di evidenziare delle casistiche in cui l'AHP stessa, con le dovute attenzioni, riesce a divincolarsi da situazioni critiche, come ad esempio la mancanza di informazioni.

¹ T. L. Saaty, "Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process: the Organization and Prioritization of Complexity", *RWS Publications*, 1996.

² O. Helmer, N. Rescher, "On the epistemology of the inexact science", *Management Science*, 6, 1959, pagg. 25-53.

³ N. C. Dalkey, O Helmer, "An experimental application of the Delphi method to the use of experts", *Management Science*, 9, 1963, pagg. 458-467.

⁴ L. A. Zadeh. "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 3, 1973, pagg. 28-44.

4.1 LE TECNICHE MODERNE

Tra le tecniche moderne maggiormente sfruttate negli ultimi due decenni vanno sicuramente ricordate la DHP, che integra l'AHP principalmente nella fase di costruzione ambientale del processo decisionale, la F-AHP che, invece, permette la costruzione di comparazioni che tengono conto della cosiddetta vaghezza del decisore e, infine, l'ANP un'estensione dell'AHP definita direttamente dal suo inventore, T. L. Saaty.

In realtà, il panorama delle tecniche moderne non si esaurisce con le tre appena citate: TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE e DEMATEL sono solo alcune delle altre logiche e metodologie ideate negli ultimi anni e che, in qualche modo, hanno a che fare direttamente o indirettamente con l'AHP tradizionale. Il loro apporto, però, non è stato così rivoluzionario e, di conseguenza, non verranno trattate nel proseguo del capitolo.

Infine, va ricordato, che in qualche occasione è possibile combinare assieme DHP, F-AHP e ANP (si materializza con l'acronimo F-DNP). A seconda della problematica decisionale, quindi, spetta al decisore definire la tecnica che maggiormente minimizza la possibilità erratica.

4.1.1 LA DELPHIC HIERARCHY PROCESS (DHP)

La metodologia *Delphi* è stata originariamente sviluppata nell'ambito del *Progetto RAND*⁵ negli Stati Uniti negli anni '50, anche se è stata ufficialmente introdotta da Dalkey ed Helmer (1959 e 1963, si vedano le note 2 e 3) al fine di valutare le variabili che sono immateriali o coperte da incertezza estrapolando la conoscenza e l'esperienza di un gruppo eterogeneo di esperti attraverso un metodo di consultazione anonima e iterativa.

⁵ La RAND Corporation è un *think-tank* statunitense, fondato nel 1946 con il supporto finanziario del Dipartimento della Difesa USA. Attualmente impiega più di 1500 ricercatori e dal 1992 è attivo anche in Europa. Tra i suoi principali successi, annovera l'applicazione della teoria dei giochi, metodologie per anticipare possibili sviluppi futuri attraverso scenari, il metodo *Delphi* e la definizione teorica della commutazione di pacchetto (<https://www.rand.org/>).

È un metodo sistematico e interattivo che si basa sulla presenza e sulle opinioni di un gruppo di esperti indipendenti e sfrutta quattro caratteristiche chiave:

- L'anonimato del panel;
- L'iterazione che consente agli esperti di affinare le loro opinioni;
- Il feedback controllato;
- L'aggregazione statistica della risposta del gruppo che consente un'analisi quantitativa e qualitativa dei dati.

È uno strumento molto flessibile che consente di raggiungere un consenso, attraverso la raccolta di opinioni su un dato problema. Questo metodo è particolarmente adatto alle situazioni nelle quali si evidenzia una conoscenza incompleta di un problema o di un fenomeno e, infatti, ha dimostrato nel corso degli anni essere uno strumento molto popolare per la costruzione di quadri, previsioni, priorità, processi decisionali, et cetera.

Il metodo *Delphi* è stato utilizzato per molteplici studi in molteplici settori, tra i quali vanno evidenziati sicuramente quelli dell'ingegneria industriale, della gestione di progetto, della logistica e trasporti e della politica.

Dal punto di vista pratico, la metodologia sfrutta un'indagine che spesso si tramuta in un sondaggio che coinvolge un panel di esperti del settore. Il panel può essere invitato in un unico luogo, all'interno del quale prenderà parte anonimamente al sondaggio, oppure (come accade molto più frequentemente) si sfrutta internet per inviare / ricevere il materiale tramite posta elettronica, risparmiando in termini di tempo e di spesa.

Ci sono interpretazioni diverse in merito alla giusta dimensione del gruppo di indagine *Delphi* in letteratura. Tuttavia, è raccomandabile avere a disposizione un gruppo tra i 9 ed i 18 partecipanti, al fine di raggiungere con una ragionevole certezza una conclusione rilevante e, soprattutto, condivisa. Per quanto concerne, invece, la composizione del panel, è si pensa che sia necessario strutturarla con personalità eterogenee provenienti da contesti ed esperienze differenti, di modo da non smarrire nessun punto di vista. Ovviamente, alcune caratteristiche di soglia sono richieste:

- Conoscenza ed esperienza sufficienti sulla problematica del sondaggio;
- Capacità, disponibilità e tempo di partecipazione;

- Buone capacità di comunicazione.

Il questionario solitamente sfrutta un paio di pagine che spiegano lo scopo e la struttura del sondaggio, nonché le condizioni di anonimato degli esperti in ogni fase dello studio. Le domande vengono organizzate in più sezioni tematiche e vengono formulate di modo che l'interrogato possa facilmente rispondere indicando un valore in una scala (le più comuni sono 1-5 e 1-9). Un particolare tipo di scala, quella di Likert⁶, permette anche di rispondere “non lo so” e “non voglio rispondere”, anche se questo può portare a dei problemi nel processo iterativo di tramutazione del sondaggio in un valore concreto. Va, infine, ricordato che spesso si lascia spazio ai partecipanti di lasciare commenti e domande in qualsiasi momento e su qualsiasi punto del questionario *Delphi*.

In alcuni casi, a seconda della complessità della materia, si possono organizzare più round di sondaggio, che coinvolgono panel differenti di esperti.

Una volta che i risultati sono nelle mani degli analisti, si può procedere alla fase di gestione delle risposte: da un lato è vincolante verificare che le opinioni siano correlate e condivise (la *mean standard deviation* delle risposte permette di avere un indicatore caratterizzato da un valore normalizzato); dall'altro, se la verifica ha avuto esito positivo, i *decision makers* possono sfruttare le risposte per ampliare la propria base di conoscenza in materia ed arrivare ad una decisione maggiormente obiettiva e competente.

Per completezza espositiva si riassumono nella tabella che segue (Tabella 4.1) l'insieme delle diverse tecniche *Delphi* che sono state sperimentate nel corso degli ultimi decenni e che vengono attuate a seconda della tipologia di ricerca ed indagine.

TAB. 4.1 – I DIFFERENTI DESIGN DEL METODO DELPHI

Design	Scopo	Panel	Gestione	Round
Classico	Generare opinioni e consenso	Esperti	Posta	<3
Modificato	Vario, dalla previsione al consenso	Esperti	Posta, online	>3

⁶ R. Likert, “Technique for the measure of attitudes”, *Archives of Psychology*, 140, 1932, pagg. 5-55.

Design	Scopo	Panel	Gestione	Round
Decisionale	Strutturare un problema decisionale e definizione del futuro	Decision makers	Vario	Vario
Politico	Generare opinioni contrarie e trovare soluzioni	Policy makers	Meeting	Vario
Real-Time	Suscitare opinioni e ottenere consenso	Esperti	Computer	Vario
e-Delphi	Vario, a seconda della natura della ricerca	Esperti	Email, online	Vario
Tecnologico	Vario, dalla previsione al consenso	Esperti	Keypads	Vario
Online	Vario, dalla previsione al consenso	Esperti	Chat room	Vario
Argomentato	Sviluppare opinioni pertinenti e ragioni sottostanti ad opinioni differenti	Esperti	Vario	Vario
Politico disaggregato	Definire scenari futuri, indicando probabili e preferibili situazioni future	Esperti	Vario	Vario

Si è già avuto modo di sottolineare l'importanza dell'integrità del decisore nel processo dell'AHP, il quale ha un ruolo di fondamentale importanza nella buona riuscita del processo decisionale.

È in questo contesto che l'integrazione tra le due tecniche permette di raggiungere un'affidabilità rilevante: l'uso del metodo *Delphi* si insinua in maniera complementare sia nella fase iniziale di raccolta delle informazioni e delle variabili ambientali, al fine di identificare in maniera completa criteri ed alternative del problema decisionale; sia nella successiva fase di costruzione dei confronti, dove un'indagine può sfruttare un gruppo di esperti per ottenere le matrici di confronto di criteri ed alternative.

Non sorprende, quindi, che esistano moltissimi studi pubblicati che fanno uso della DHP, tutti sviluppati a partire dall'inizio del 21° secolo. Uno, in particolare, è un buon esempio nel contesto del management, in quanto fa uso della DHP per valutare la complessità di un progetto⁷.

⁷ L. Vidal, F. Marle, J. Bocquet, "Using a Delphi process and the Analytic Hierarchy Process (AHP) to evaluate the complexity of projects", *Expert Systems with Applications*, 38, 2011, pagg. 5388-5405.

4.1.1.1 LA DHP NELLA VALUTAZIONE DELLA COMPLESSITÀ DI UN PROGETTO

La complessità dei progetti è una materia odierna ed in continua crescita e deve essere compresa, analizzata e misurata al fine di assistere al meglio alla gestione dei progetti moderni.

Lo studio della letteratura in materia permette di individuare quattro *driver* della complessità:

- Dimensioni del progetto: la somma delle dimensioni di ogni singolo oggetto elementare che esiste e dà forma al sistema progettuale;
- Varietà del progetto: la somma delle diversità di ogni singolo oggetto elementare del sistema progettuale;
- Interdipendenze progettuali: l'insieme delle relazioni che intercorrono tra ogni oggetto elementare del sistema progettuale;
- Contesto: tutto ciò che può essere riferito alla variabile ambientale all'interno della quale prende corpo il sistema progettuale.

Come già sottolineato in precedenza, nella strutturazione di un problema decisionale fermarsi ad un solo livello criteriale può essere fuorviante. Spingendosi, quindi, oltre nello studio delle applicazioni e della letteratura si perviene ad un insieme di criteri molto vasto, riassunto di seguito (Tabella 4.2, in merito alla fonte si veda la nota 7).

TAB. 4.2 – STRUTTURA CRITERIALE SECONDO LA LETTERATURA (COMPLESSITÀ PROGETTUALE)

Tipo	Criticità
Dimensione	Numero delle parti interessate Numero dei sistemi informativi Numero degli elementi da coordinare Numero di imprese / progetti che condividono risorse Numero di dipartimenti coinvolti Numero di scadenze / consegne Numero di obiettivi Tipologia e numero di scopi Quantità di risorse Livelli gerarchici Numero di investitori Numero di attività

Tipo	Criticità
	Quantità di capitale investito Quantità di staff Numero di decisioni da prendere Durata del progetto
Varietà	Varietà dei sistemi informativi da combinare Locazione geografica delle parti interessate Varietà degli interessi delle parti interessate Diversità nello staff Varietà dello status delle parti interessate Varietà dei livelli gerarchici Varietà delle risorse finanziarie Varietà delle interdipendenze organizzative Varietà delle abilità necessarie a tutti i livelli Varietà dei metodi / strumenti applicati alla gestione del progetto
Interdipendenze	Dipendenze ambientali Disponibilità di persone e risorse Interdipendenze organizzative Cooperazione e comunicazione a livello di team Dipendenze tra le scadenze progettuali Interdipendenze tra sistemi informativi Interdipendenze tra gli obiettivi Livello di inter-correlazione tra le fasi progettuali Interdipendenze progettuali Inter-correlazioni tra le parti interessate Interdipendenze logistiche Struttura ed evoluzione dei team Relazioni permanenti interne ed esterne
Contesto	Configurazione culturale Complessità ambientali Stato dell'innovazione locale Leggi e regolamentazioni locali Leggi e regolamentazioni in via di definizione Configurazione istituzionale Competizione settoriale

In questi casi, può essere maggiormente utile sfruttare l'opinione di un panel di esperti per confermare o correggere le assunzioni fatte finora. Nel contesto dello studio che si sta presentando si è scelto a favore di un'indagine *Delphi* a carattere internazionale strutturata su due round, che ha portato al risultato esposto di seguito (Tabella 4.3, in merito alla fonte si veda la nota 7).

**TAB. 4.3 – STRUTTURA CRITERIALE SECONDO IL METODO DELPHI
(COMPLESSITÀ PROGETTUALE)**

Tipo	Criticità
Dimensione	Numero delle parti interessate
Varietà	Varietà dei sistemi informativi da combinare Locazione geografica delle parti interessate Varietà degli interessi delle parti interessate
Interdipendenze	Dipendenze ambientali Disponibilità di persone e risorse Interdipendenze organizzative Cooperazione e comunicazione a livello di team Dipendenze tra le scadenze progettuali Interdipendenze tra sistemi informativi Interdipendenze tra gli obiettivi Livello di inter-correlazione tra le fasi progettuali
Contesto	Configurazione culturale Complessità ambientale

È evidente come l'uso della DHP permetta di focalizzarsi sulle variabili ambientali maggiormente rilevanti, costruendo così una struttura decisionale maggiormente performante.

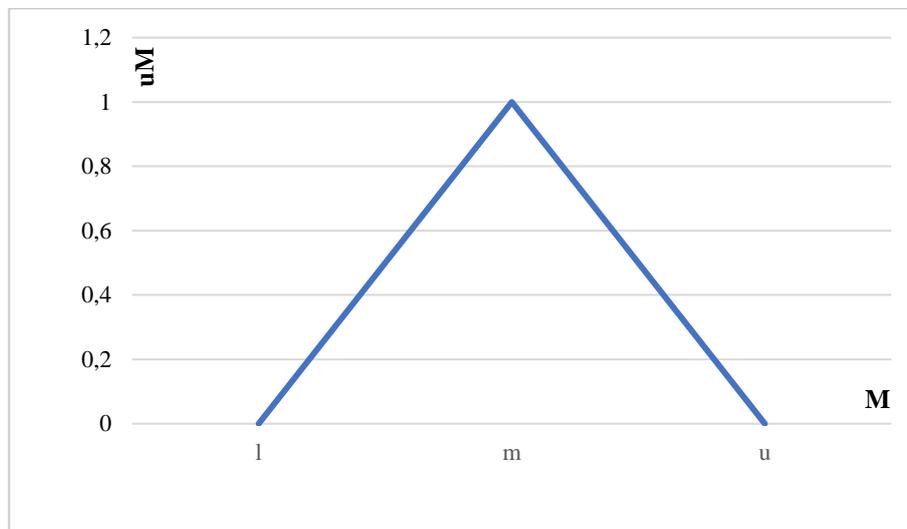
4.1.2 LA FUZZY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (F-AHP)

Il concetto di logica *Fuzzy* è stato concepito da Zadeh (vedasi nota 4) per formulare conclusioni a partire da informazioni vaghe, ambigue oppure imprecise.

Per spiegare questa informazione da un punto di vista matematico è stato definito il concetto di insieme *Fuzzy*, ovvero una classe di obiettivi con gradi continui di appartenenza. La funzione di appartenenza di un insieme *Fuzzy* assegna a ciascun oggetto un voto di appartenenza (che va da 0 a 1). Quando si rappresenta un insieme *Fuzzy* è convenzione posizionare una tilde “~” sopra la variabile usata.

Un'estensione della mera logica *Fuzzy* (0-1) sono i cosiddetti numeri *Fuzzy* triangolari (TFN), che vengono indicati come un gruppo di tre valori (l, m, u), dove: l è il valore più piccolo possibile, m è il valore più promettente, mentre u è quello più grande possibile. Quando $l = m = u$ per definizione non si è di fronte ad un TFN.

FIG. 4.1 – LA RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI UN TFN (M)



È interessante notare che ogni TFN ha rappresentazioni lineari sul lato sinistro e destro in modo tale che la sua funzione di appartenenza possa essere definita come:

$$u_{\bar{M}} = \begin{cases} 0, & x < l \\ \frac{(x - l)}{(m - l)}, & l \leq x \leq m \\ \frac{(u - x)}{(u - m)}, & m \leq x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases}$$

I TFN sono intuitivamente facili da usare nell'esprimere una valutazione qualitativa da parte del decisore. Inoltre, un TFN può essere sempre definito dalla corrispondente rappresentazione sinistra e destra del suo grado di appartenenza, dove $l(y)$ e $r(y)$ indicano rispettivamente il lato sinistro ed il lato destro:

$$\tilde{M} = (M^{l(y)}, M^{r(y)}) = (l + (m - l)y, u + (m - u)y), \quad y \in [0, 1]$$

La metodologia tradizionale dell'AHP non prevede la vaghezza derivante dai giudizi personali, che però può essere introdotta grazie all'appena definita logica *Fuzzy*.

Nell'applicare la logica *Fuzzy* all'AHP la principale differenza è che l'espressione della valutazione da parte del decisore non è più numerica (secondo la scala fondamentale 1-9 definita da T. L. Saaty), bensì tramite l'uso dei termini linguistici, che si traducono poi in un determinato TFN (Tabella 4.4).

TAB. 4.4 – SCALA DI COMPARAZIONE CON TFN

Scala T. L. Saaty	Termine linguistico	TFN
1	Stessa importanza (SI)	(1, 1, 1)
2	Importanza debole	(1, 2, 3)
3	Importanza moderata (MI)	(2, 3, 4)
4	Importanza moderata plus	(3, 4, 5)
5	Importanza forte (FI)	(4, 5, 6)
6	Importanza forte plus	(5, 6, 7)
7	Importanza molto forte (MFI)	(6, 7, 8)
8	Importanza molto forte plus	(7, 8, 9)
9	Importanza estrema (EI)	(9, 9, 9)

Per risolvere la problematica dell'uso dei TFN per la comparazione di criteri ed alternative si può sfruttare una procedura composta da 5 step, che sono descritti di seguito.

Step 1: il decisore effettua la comparazione tramite l'uso dei termini linguistici. In accordo con quanto espresso in Tabella 4.4, ad esempio se un elemento (criterio o alternativa) è debolmente più importante di un altro, il valore di riferimento sarà il TFN (2, 3, 4); se fosse il contrario, invece, il valore di riferimento sarà il TFN (1/4, 1/3, 1/2).

Step 2: la matrice di comparazione è composta da valori TFN. Per ogni elemento (criterio o alternativa) nella matrice sarà necessario calcolare la sua media geometrica (in riga, non in colonna), il cui risultato è comunque un valore triangolare. È necessario, inoltre, trovare l'*inverse vector* (alla potenza -1).

$$\tilde{r}_i = \left(\prod_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Step 3: a questo punto è possibile calcolare il peso di ciascun elemento, moltiplicando \tilde{r}_i per il *inverse vector*.

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \times (\tilde{r}_1, \tilde{r}_2, \dots, \tilde{r}_n) = (lw_i, mw_i, uw_i)$$

Step 4: i pesi rappresentano ancora valori triangolari, che però ora possono essere tramutati in valori singoli tramite una media semplice.

$$M_i = \frac{lw_i + mw_i + uw_i}{3}$$

Step 5: la normalizzazione dei precedenti valori permette di calcolare il peso definitivo di ciascun elemento.

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i}$$

L'uso della F-AHP annovera molteplici studi pubblicati in questo secolo. Se la sua rilevanza è appena stata spiegata, può essere utile una dimostrazione pratica dell'uso di questa tecnica grazie ad una classica scelta manageriale: la selezione di un fornitore⁸.

4.1.2.1 LA F-AHP NELLA SELEZIONE DI UN FORNITORE

La scelta relativa alla selezione di un fornitore è già stata affrontata nel precedente capitolo, nel contesto del quale è stata presentata la procedura pratica necessaria ad applicare la metodologia tradizionale dell'AHP ad una problematica decisionale.

Applicare la logica, appena descritta, della F-AHP rende la procedura più laboriosa, anche se più incisiva.

Si immagini di aver individuato i criteri di confronto, che nella fattispecie sono:

- Qualità (QA);
- Originalità (OG);
- Costo (CS);
- Consegna (CN);
- Post-vendita (PV).

⁸ M. Ayhan, "A Fuzzy AHP Approach for Supplier Selection Problem: A Case Study in a Gear Motor Company", *International Journal of Managing Value and Supply Chains*, 3, 2013, pagg. 11-23.

Nella F-AHP il confronto tra gli elementi di una matrice avviene, come detto, attraverso i termini linguistici e non la scala fondamentale (1-9), il che dà origine ad una matrice di confronto con valori TFN, come si può notare dalle due tabelle rappresentate di seguito (Tabella 4.5 e 4.6).

**TAB. 4.5 – CONFRONTO A COPPIE DEI CRITERI NELLA F-AHP
(FORNITORE)**

EI	MFI	FI	MI	Cr.	SI	Cr.	MI	FI	MFI	EI
				QA	✓	OG				
		✓		QA		CS				
	✓			QA		CN				
		✓		QA		PV				
		✓		OG		CS				
	✓			OG		CN				
	✓			OG		PV				
				CS		CN	✓			
			✓	CS		PV				
				CN		PV		✓		

**TAB. 4.6 – MATRICE DI COMPARAZIONE DEI CRITERI NELLA F-AHP
(FORNITORE)**

Criteria	QA	OG	CS	CN	PV
QA	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(4, 5, 6)	(6, 7, 8)	(4, 5, 6)
OG	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(4, 5, 6)	(6, 7, 8)	(6, 7, 8)
CS	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$	(1, 1, 1)	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(2, 3, 4)
CN	$(\frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6})$	$(\frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6})$	(2, 3, 4)	(1, 1, 1)	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$
PV	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$	$(\frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6})$	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(4, 5, 6)	(1, 1, 1)

Come indicato dalla suddetta procedura, lo step successivo è quello di calcolare congiuntamente il *reverse vector* e la media geometrica di ciascun criterio (Tabella 4.7) che, ad esempio, nel primo caso è pari a:

$$\tilde{r}_1 = \left[(1 * 1 * 4 * 6 * 4)^{\frac{1}{5}}; (1 * 1 * 5 * 7 * 5)^{\frac{1}{5}}; (1 * 1 * 6 * 8 * 6)^{\frac{1}{5}} \right]$$

$$= (2,49; 2,81; 3,10)$$

TAB. 4.7 – MEDIE GEOMETRICHE E REVERSE VECTOR DELLA MATRICE DI COMPARAZIONE DEI CRITERI NELLA F-AHP (FORNITORE)

Criteria	\tilde{r}_i		
Qualità	2,49	2,81	3,10
Originalità	2,70	3,00	3,29
Costo	0,43	0,53	0,66
Consegna	0,35	0,41	0,49
Post-Vendita	0,46	0,54	0,66
Totale	6,43	7,30	8,20
<i>Inverse (potenza di -1) ordinato</i>	<i>0,12</i>	<i>0,14</i>	<i>0,16</i>

Infine, è possibile definire il peso (*Fuzzy*, singolo e normalizzato) di ciascuna alternativa (Tabella 4.8) secondo le formule indicate agli step 3, 4 e 5 che, ad esempio, nel primo caso sono pari a:

$$\tilde{w}_1 = [(2,49 * 0,12); (2,81 * 0,14); (3,10 * 0,16)] \\ = (0,304; 0,385; 0,483)$$

$$M_1 = \frac{0,304 + 0,385 + 0,483}{3} = 0,391$$

$$N_1 = \frac{0,391}{1,020} = 0,383$$

TAB. 4.8 – PESI DEI CRITERI NELLA F-AHP (FORNITORE)

Criteria	\tilde{w}_i			M_i	N_i
Qualità	0,304	0,385	0,483	0,391	0,383
Originalità	0,330	0,412	0,511	0,418	0,409
Costo	0,052	0,072	0,103	0,075	0,074
Consegna	0,043	0,057	0,076	0,058	0,057
Post-Vendita	0,056	0,075	0,103	0,078	0,076

La procedura, chiaramente, può essere reiterata anche per l'analisi comparativa delle alternative per ciascun criterio, al fine di portare a termine il processo decisionale.

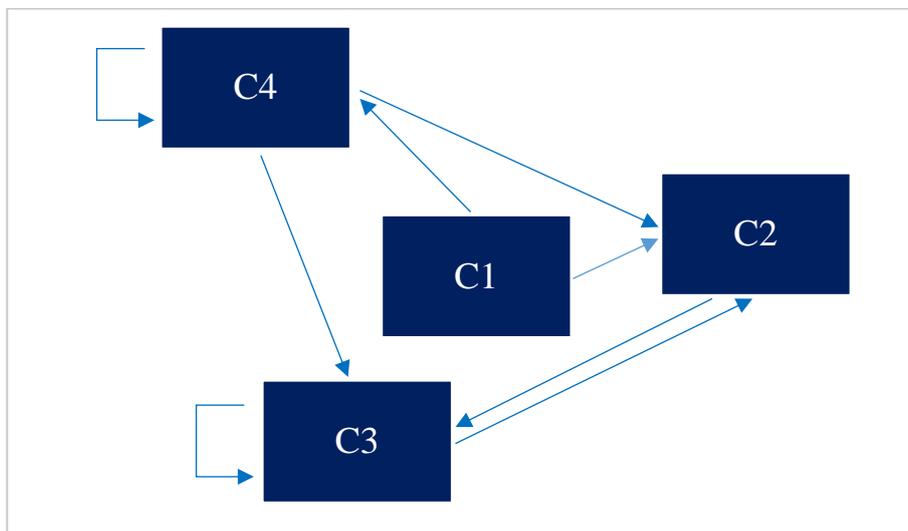
4.1.3 L'ANALYTIC NETWORK PROCESS (ANP)

L'*Analytic Network Process* (ANP) è una generalizzazione dell'AHP, ideata da T. L. Saaty nel 1996 (a tal proposito si veda la nota 1).

La grande differenza tra l'ANP e l'AHP è che la prima considera la dipendenza tra gli elementi che compongono la scala gerarchica del problema decisionale. Molti problemi decisionali, infatti, non possono essere strutturati gerarchicamente poiché coinvolgono l'interazione e la dipendenza di elementi di livello superiore della gerarchia sugli elementi di livello inferiore.

Pertanto, l'ANP è rappresentato da una forma a rete (Figura 4.2): la struttura di feedback non ha la classica forma *top-to-bottom* di una gerarchia ma sembra piuttosto un reticolato, con linee che collegano i componenti di cluster differenti e *loop* che collegano i componenti di un cluster a sé stesso. Sempre da un punto di vista strutturale, una rete può contenere: sorgenti, ovvero origini di percorsi di influenza; nodi intermedi che derivano da sorgenti o cicli *loop*; e, infine, destinazioni, ossia nodi che concludono un percorso di dipendenza. Ovviamente, non tutte le reti sono così complete e possono includere solo una parte di questi elementi.

FIG. 4.2 – LA RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DI PROBLEMA ANP



Le frecce che vanno da un cluster all'altro rappresentano forme di dipendenza esterna; le frecce che rientrano nello stesso cluster (C3, C4) sono, invece, influenze interne.

Va notato che ci sono due tipi di influenza: esterna e interna. Nel primo caso, vi è influenza degli elementi di un cluster sugli elementi in un altro cluster rispetto ad un determinato criterio di controllo.

Nell'influenza interna, invece, si confronta l'influenza degli elementi di un gruppo sugli elementi appartenenti allo stesso. Se ci si pensa attentamente, il mondo è molto più interdipendente di quanto si è abituati a pensare e l'ANP, in questo senso, è un modo logico per gestire la dipendenza.

Da un punto di vista matematico-operativo, la sfida nell'ambito dell'ANP deriva dal fatto che una struttura a rete, come detto, si compone di elementi ciclici (assimilabili a processi infiniti) e, di conseguenza, le operazioni necessarie ad ottenere le priorità diventano più difficili di quanto non lo siano per i processi decisionali gerarchici. Le priorità che derivano dalle matrici di confronto a coppie sono inserite come elementi in colonna di una cosiddetta super-matrice. La super-matrice rappresenta la priorità dell'influenza di un elemento a sinistra della matrice su un elemento nella parte superiore della matrice stessa, rispetto ad un particolare criterio di controllo.

Una super-matrice (SM) teorica è definita di seguito:

$$SM = \begin{matrix} & \mathbf{C}_1 & \mathbf{C}_2 & \cdots & \mathbf{C}_N \\ \mathbf{C}_1 & W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1N} \\ \mathbf{C}_2 & W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \mathbf{C}_N & W_{N1} & W_{N2} & \cdots & W_{NN} \end{matrix}$$

Ottenuta la super-matrice, va verificato il vincolo che la somma di ciascuna colonna sia pari ad 1: se non è nativamente rispettato, è necessario procedere alla normalizzazione di ciascuna colonna.

Per calcolare, infine, le priorità assolute si cerca il limite della super-matrice, per il quale è possibile verificare che la super-matrice stessa elevata ad una potenza abbastanza elevata (normalmente si usa una potenza di ordine 62 o 64) rappresenta un'ottima approssimazione, che permette di stabilizzare i valori per ciascun elemento.

Rispetto allo scopo di questo elaborato non ci si spinge oltre nella trattazione teorica di questa tecnica, per la quale esistono alcune pubblicazioni maggiormente esaustive curate da T. L. Saaty stesso⁹⁻¹⁰.

⁹ T. L. Saaty, "Theory and Applications of the Analytic Network Process", *RWS Publications*, 2005.

¹⁰ T. L. Saaty, M. Ozdemir, "The Encyclicon", *RWS Publications*, 2005.

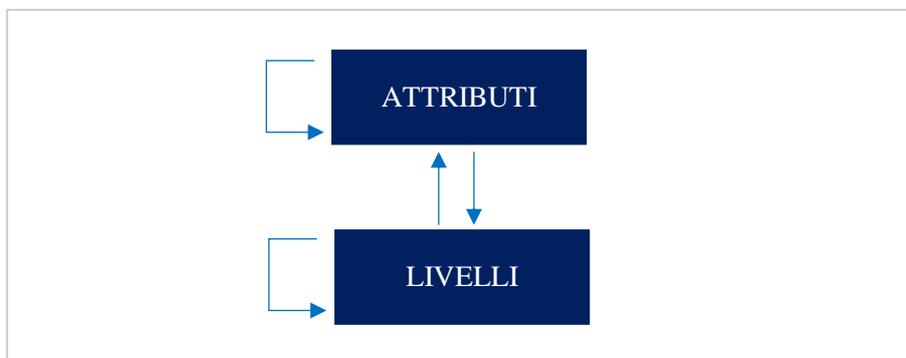
Prima di passare ad un semplice esempio chiarificatore, va sottolineato che nell'ambito dell'ANP si rende spesso necessario l'uso di software ad-hoc (come ad esempio *SuperDecisions*¹¹), che permettono di strutturare velocemente ed intuitivamente il problema decisionale evitando all'utente la problematica computazionale.

4.1.3.1 L'ANP NELLA GESTIONE DI UN IMPIANTO IDRICO

Un interessante esempio in cui testare l'uso pratico dell'ANP è la gestione di un impianto idrico, chiaramente semplificata per ottenere un problema computazionalmente gestibile.

Si può rappresentare la decisione come una rete, composta da due cluster: quello degli attributi, all'interno del quale vi sono le caratteristiche di gestione del flusso (F), manutenzione (A) e generazione energetica (E); e quello dei livelli, rispettivamente basso (L), medio (M) ed elevato (H). Entrambi i cluster generano dipendenze ed influenze interne ed esterne (Figura 4.3).

FIG. 4.3 – LA RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEL PROBLEMA ANP (IMPIANTO IDRICO)



Per prima cosa è necessario fare i confronti per attributi e livelli: nel primo caso si risponde alla domanda “Quale livello è il migliore per questo attributo?”; nel secondo, alla domanda “Quale attributo è il migliore per questo livello?”.

Di seguito sono esposte le matrici di confronto (Tabella 4.9).

¹¹ *SuperDecisions* è l'unico software educativo (*free*) che ha implementato la logica ANP. È stato sviluppato da un gruppo di progettisti facenti parte del team del creatore dell'ANP, T. L. Saaty (<https://superdecisions.com/>).

TAB. 4.9 – I CONFRONTI A COPPIE NELL'ANP (IMPIANTO IDRICO)

Gestione del flusso (F)				
	L	M	H	Peso
L	1	5	7	0,709
M	1/5	1	4	0,214
H	1/7	1/4	1	0,077
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,012

Manutenzione (A)				
	L	M	H	Peso
L	1	1/7	1/5	0,074
M	7	1	3	0,643
H	5	1/3	1	0,283
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,006

Generazione energetica (E)				
	L	M	H	Peso
L	1	1/5	1/9	0,061
M	5	1	1/5	0,216
H	9	5	1	0,723
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,012

Livello basso (L)				
	F	A	E	Peso
F	1	3	5	0,633
A	1/3	1	3	0,261
E	1/5	1/3	1	0,106
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,004

Livello medio (M)				
	L	M	H	Peso
L	1	1/3	1	0,200
M	3	1	3	0,600
H	1	1/3	1	0,200
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,001

Livello elevato (H)				
	L	M	H	Peso
L	1	1/5	1/9	0,062
M	5	1	1/4	0,236
H	9	4	1	0,701
Totale				1,000
Indice di consistenza (max. 0,058)				0,007

Definiti i confronti è possibile sfruttare gli *eigenvalues* di ciascuna matrice per costruire la super-matrice dell'ANP, in ordine in versione standard, normalizzata e limite (Tabella 4.10).

TAB. 4.10 – LA SUPER-MATRICE DELL'ANP (IMPIANTO IDRICO)

Stand.	F	A	E	L	M	H
F	1	0	0	0,633	0,200	0,062
A	0	1	0	0,261	0,600	0,236
E	0	0	1	0,106	0,200	0,701
L	0,709	0,074	0,061	1	0	0
M	0,214	0,643	0,216	0	1	0
H	0,077	0,283	0,723	0	0	1
Norm.	F	A	E	L	M	H
F	0,500	0	0	0,317	0,100	0,031
A	0	0,500	0	0,130	0,300	0,118
E	0	0	0,500	0,053	0,100	0,351
L	0,355	0,037	0,031	0,500	0	0
M	0,107	0,322	0,108	0	0,500	0
H	0,038	0,141	0,361	0	0	0,500
Tot.	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Limit.	F	A	E	L	M	H
F	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121
A	0,189	0,189	0,189	0,189	0,189	0,189
E	0,191	0,191	0,191	0,191	0,191	0,191
L	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111
M	0,189	0,189	0,189	0,189	0,189	0,189
H	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200

Per definire, infine, le priorità assolute di ogni cluster basta normalizzare i valori limite per entrambi (Tabella 4.11).

TAB. 4.11 – LE PRIORITÀ PER CLUSTER NELL’ANP (IMPIANTO IDRICO)

Attributi	
Gestione del flusso (F)	0,380
Manutenzione (A)	0,379
Generazione energetica (E)	0,241
Livelli	
Basso (L)	0,400
Medio (M)	0,378
Elevato (H)	0,222

4.2 LE GENERALIZZAZIONI DEL TEOREMA DI PERRON-FROBENIUS

L’importanza del teorema di *Perron-Frobenius* (analiticamente già discusso nel primo capitolo di questo elaborato) proviene principalmente da due fonti.

Innanzitutto è lecito definire che le situazioni e le interazioni presenti nel mondo reale siano sempre più spesso espresse in forma positiva, o almeno non negativamente. Volendo fare alcuni esempi: il tempo a_{ij} necessario per raggiungere il magazzino j dal magazzino i non è certamente negativo; la percentuale $a_{i,i+1}$ della fascia di età i che sopravvive nella fascia di età $i+1$ è positiva; il j -esimo settore economico che consuma $a_{ij}x_j$ unità non negative dell’output prodotto dal settore x_i , produce x_j unità. E così via.

In secondo luogo, uno stupefacente numero di modelli rilevanti sono caratterizzati da semplici iterazioni di processi lineari: iniziano con uno stato iniziale x^0 , quindi si evolvono in modo ricorsivo secondo la regola $x^{k+1} = Ax^k$, oppure in breve, $x^k = A^k x^0$. Ovviamente, risulta di fondamentale importanza sapere il momento di convergenza del modello. La risposta è abbastanza semplice: uno schema iterativo $x^k = A^k x^0$ converge per ogni stato iniziale x^0 se e solo se gli autovalori λ di A distinti da 1 sono in modulo $|\lambda| < 1$ e se $\lambda = 1$ è un autovalore di rango completo. In sostanza, con $A > 0$, Perron afferma che il processo iterativo convergerà esattamente quando l’autovalore (positivo) dominante $\lambda = \rho$ è al massimo 1; il processo converge al valore 0, invece, se $\rho < 1$.

Nel corso dell'ultimo secolo un numero notevole di generalizzazioni del teorema ha trovato applicazione. Di seguito sono indicati dei principali modelli che incarnano questa teoria¹²:

- *The Three-Point Numerical Method* è un modello che ha permesso la soluzione di problemi complessi di conduzione di calore;
- *The Population Model* è un modello che permette di individuare l'andamento (crescita, stati o estinzione) di una determinata popolazione;
- *Markov Chains* (o Catene di Markov) fanno parte della più generale teoria dei Processi Markoviani, che permettono di studiare la probabilità di transizione di un fenomeno da uno stato all'altro. Tra le applicazioni più diffuse di queste teorie si possono indicare il funzionamento delle reti di telecomunicazioni oppure la Teoria delle Code;
- *Leontiev Input/Output Economic Model* è un famoso modello economico che definisce il modo in cui due o più paesi si relazionano in merito alle proprie capacità produttive e le possibilità di importazione ed esportazione;
- *Walrasian Stability of Competitive Markets* è un modello che sfrutta il concetto tradizionale di equilibrio economico, per l'analisi dei mercati delle materie prime con prezzi flessibili e molti commercianti e, oggi, è considerato un punto di riferimento circa l'efficienza nell'analisi economica;
- *Thurston's classification of surface diffeomorphisms* è una teoria facente parte della topologia dimensionale, nell'ambito della quale il teorema è una delle chiavi fondamentali per lo studio delle cosiddette mappe PA;
- *Soglia di Kermack-McKendrick* è un modello che studia in forma deterministica l'evolversi delle epidemie.

In aggiunta ai sopracitati modelli, nei prossimi paragrafi vengono analizzate sommariamente le caratteristiche di un paio di particolari applicazioni che fanno largo uso del teorema di *Perron-Frobenius* e

¹² C. R. MacCluer, "The Many Proofs and Applications of Perron's Theorem", *SIAM Reviews*, 42, 2000, pagg. 487-498.

che, in un certo qual modo, rappresentano forme di generalizzazione dello stesso spesso prese di riferimento.

4.2.1 IL RANKING STAGIONALE DELLE SQUADRE DI FOOTBALL AMERICANO

Negli Stati Uniti con l'arrivo dell'autunno ogni anno uno degli argomenti maggiormente discussi in ambito sportivo è il pronostico della miglior squadra collegiale di football americano (NCAA). In questo senso, i sondaggi (AP e UPI) si aggiungono alla confusione generale, dal momento che si basano su delle votazioni, non certo sempre obiettive.

Uno studio¹³ si è concentrato su un approccio matematico alla problematica, proponendo quattro differenti soluzioni.

Prima di vedere nel dettaglio la soluzione che coinvolge il teorema di *Perron-Frobenius*, va ricordato che la *regular season* nel caso del NCAA non è un *round robin*, bensì si compone di 12-13 incontri, alcuni obbligatori all'interno della propria *conference*, altri vengono organizzati con accordi decisi fra le varie squadre.

Come prima soluzione è possibile proporre un'applicazione diretta del teorema, che non verrà discussa nuovamente in questa sede.

L'applicazione diretta del teorema, però, genera un problema fondamentale: se un team si scontra prevalentemente con squadre di bassa classifica (e basso ranking), non può ottenere un ranking elevato, dal momento che il ranking stesso derivante dai confronti a coppie ne tengono inevitabilmente conto.

Per ovviare al problema, come seconda soluzione proposta, si può costruire uno schema non lineare, calcolando il ranking (r_i) di ciascuna squadra in questo modo:

$$r_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^N f(e_{ij}r_j)$$

¹³ J. P. Keener, "The Perron-Frobenius Theorem and The Ranking of Football Teams", *SIAM Reviews*, 35, 1993, pagg. 80-93.

Dove e_{ij} è un valore determinato dal risultato tra la gara tra il team i ed il team j , n_i è il numero di partite giocate dal team i , r_j è il ranking del team j e f è una qualche funzione continua, crescente e monotona per la quale $f(0) = 0$ e $f(\infty) = 1$. Il vantaggio di questo metodo è che, ora, i team guadagnano fino ad un massimo di un punto per ogni partita giocata, che sia battendo un team forte o stracciando l'ultima squadra in graduatoria.

Ovviamente, anche in questo caso è dimostrabile la presenza di un vettore di ranking positivo (r), definendo una funzione non lineare di r stesso:

$$F_i(r) = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^N f(e_{ij}r_j)$$

F è equiparabile ad una mappa delimitata e non lineare dell'argomento presente dentro ad essa. Se suppone che $f(0) > 0$ e che $f(x)$ è sia strettamente concava che rispettosa del vincolo $f(tx) > tf(x)$ per ogni t (con $0 < t < 1$), allora esiste un unico punto fisso della mappa $F_i(r)$, che può essere trovato attraverso successive approssimazioni partendo con qualsiasi vettore positivo r_0 , per il quale vale:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} F^n(r_0) = r$$

Al di là dei risultati (e delle altre metodologie) dello studio circa le predizioni del campionato NCAA, è assolutamente interessante notare che l'equazione $F(r) = r$ è un problema di *eigenvector* non lineare per il quale si ricerca un *eigenvector* strettamente positivo e, quindi, questo risultato può essere visto come una forma di generalizzazione non lineare del teorema di *Perron-Frobenius*.

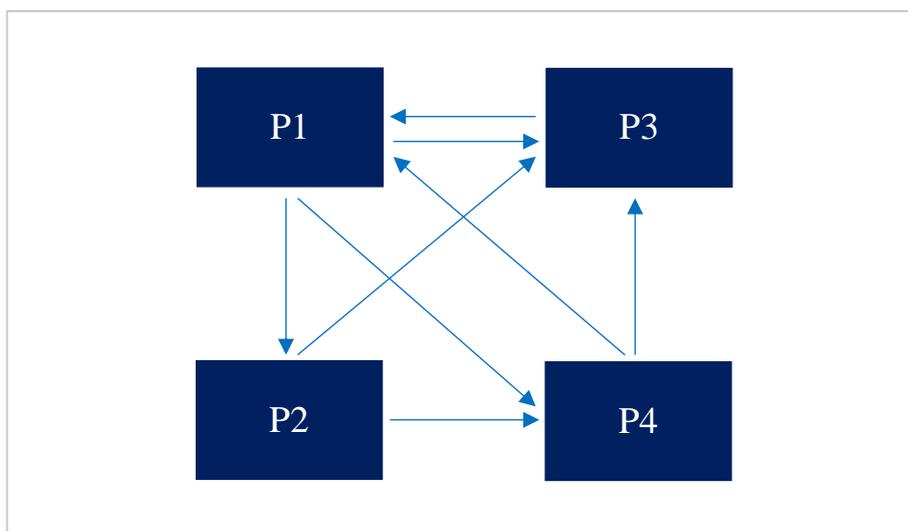
4.2.2 L'EIGENVECTOR DA 25 MILIARDI DI DOLLARI

Quando Google è andato online alla fine degli anni novanta, una caratteristica che lo ha differenziato dagli altri motori di ricerca, era la capacità di individuare le necessità dell'utenza in anticipo. Gran parte della magia alle spalle di Google è il suo algoritmo *PageRank*, che

quantifica quantitativamente l'importanza di ogni pagina sul web, consentendo a Google di classificare le pagine e, quindi, di presentare all'utente i risultati più coerenti alla propria ricerca, ordinati per rilevanza.

Il modo in cui Google calcola le classifiche delle pagine web è equiparabile ad una deliziosa applicazione di algebra lineare standard¹⁴. L'idea di base definisce che l'importanza di una qualsiasi pagina web (che è sempre un numero reale non negativo) derivi dal numero di link fatti a quella pagina da altre pagine web. Si può supporre, quindi, che l'insieme del web contenga n pagine, dove ogni pagina è indicizzata da un numero intero k , con $1 \leq k \leq n$. Un tipico esempio (Figura 4.4), si può rappresentare graficamente con 4 pagine web, collegate tra loro da frecce (*link*). Si può usare la variabile x_k per indicare il punteggio della pagina k nel web, con x_k che è un valore non negativo e con $x_j > x_k$ che indica che la pagina j è più importante della pagina k .

FIG. 4.4 – UNA VERSIONE SEMPLIFICATA DEL WEB



Un approccio molto semplice è calcolare x_k come numero di *back-link* (*link* che puntano ad una determinata pagina) della pagina k . Tornando all'esempio precedente, si ha che $x_1 = 2$, $x_2 = 1$, $x_3 = 3$ e $x_4 = 2$ e, quindi, il ranking della pagina 3 è quello più elevato.

¹⁴ K. Bryan, T. Leise, "The \$25,000,000,000 Eigenvector: The Linear Algebra behind Google", *SIAM Reviews*, 48, 2006, pagg. 569-581.

Questo approccio, però, ignora una caratteristica importante che ci si aspetta da un algoritmo di ranking, ovvero l'importanza relativa di un *back-link* derivante dal ranking della pagina di origine. Tornando al solito esempio, secondo la logica precedente, le pagine 1 e 4 si equivalgono dal momento che entrambe hanno 2 *back-link*. Se si aggiunge la logica di ranking del *back-link*, però, ecco che la pagina 1 ottiene un *ranking* più elevato, dal momento che può vantare un *link* originato dalla pagina 3, la più alta in classifica.

Un tentativo di incorporare questa idea, potrebbe essere quello di calcolare il *ranking* della pagina j come la somma dei punteggi di tutte le pagine che si collegano alla pagina j stessa: $x_j = x_1 + \dots + x_n$. Questo schema, però, sembra esageratamente autoreferenziale, con la conseguenza che una pagina che lancia un gran numero di *link* esterni rischia di ottenere un *ranking* molto elevato. Una logica maggiormente appagante è questa: se la pagina j contiene n_j *link*, uno dei quali è rivolto alla pagina k , il punteggio della pagina k viene incrementato di $\frac{x_j}{n_j}$, piuttosto che per x_j . In questo modo, ogni pagina web ottiene un totale di un voto, ponderato dal punteggio di quella pagina web, che è equamente diviso tra tutti i suoi *link* in uscita.

$$x_k = \sum_{j \in L_k} \frac{x_j}{n_j}, \quad L_k \subset \{1, 2, \dots, n\}$$

Si può provare ad applicare questo approccio al solito esempio con 4 pagine: il *ranking* delle quattro pagine è pari a:

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{x_3}{1} + \frac{x_2}{2} \\ x_2 &= \frac{x_1}{3} \\ x_3 &= \frac{x_1}{3} + \frac{x_2}{2} + \frac{x_4}{2} \\ x_4 &= \frac{x_1}{3} + \frac{x_2}{2} \end{aligned}$$

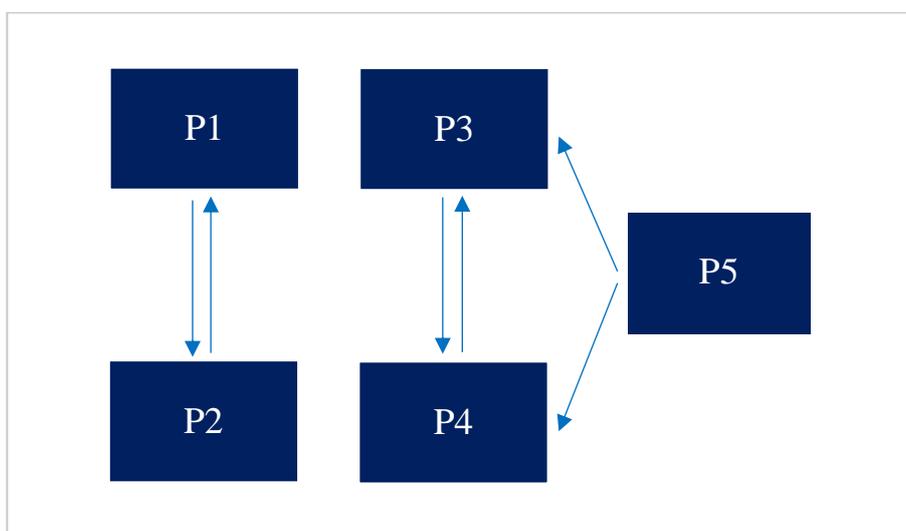
Questo sistema di equazioni lineari può essere tramutato nella classica formula matriciale $Ax = x$, dove:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}^T$$

Questo risultato trasforma il problema del *ranking* nella ricerca dell'*eigenvector* di una matrice quadrata, che con le modalità di calcolo già affrontate negli scorsi capitoli e paragrafi, definisce il seguente sistema di priorità per l'esempio trattato: $x_1 = 0,387$; $x_2 = 0,129$; $x_3 = 0,290$; $x_4 = 0,194$.

Purtroppo, molte difficoltà sorgono dall'uso della metodologia appena descritta, tra cui, la presenza dei cosiddetti *ranking* non univoci. Questa casistica (Figura 4.5), ovviamente più che presente nel web, si configura come la situazione in cui l'*eigenspace* dell'*eigenvector* 1 è tale per cui $\dim[V_1(A)] > 1$, che nella realtà consiste nella presenza di molteplici *sub-webs* (W_1, W_2, \dots, W_r) separati tra loro, con la conseguente mancanza di un vettore di ranking caratterizzato da $\sum x_i = 1$.

FIG. 4.5 – UNA VERSIONE DEL WEB COMPOSTO DA DUE SUB-WEBS



Un rimedio per questa criticità è l'applicazione di un caso speciale del teorema di *Perron-Frobenius*: sia S una matrice monodimensionale $n \times n$ con tutte le voci $\frac{1}{n}$, grazie alla quale è possibile sostituire la matrice A con la matrice:

$$M = (1 - m)A + mS, \quad 0 \leq m \leq 1$$

M rappresenta una media ponderata di A e S , mentre il valore di m utilizzato normalmente da Google è 0,15. Un risultato di fondamentale importanza è che ora $V_1(M)$ è sempre unidimensionale se $m \in (0, 1)$. Di conseguenza, la matrice M può essere utilizzata per calcolare le priorità assolute delle alternative. Tornando ai due esempi precedenti, si ottengono le rispettive matrici:

$$M_{\text{esempio 1}} = \begin{pmatrix} 0,0375 & 0,0375 & 0,8875 & 0,4625 \\ 0,032083 & 0,0375 & 0,0375 & 0,0375 \\ 0,032083 & 0,4625 & 0,0375 & 0,4625 \\ 0,032083 & 0,4625 & 0,0375 & 0,0375 \end{pmatrix}$$

$$M_{\text{esempio 2}} = \begin{pmatrix} 0,03 & 0,88 & 0,03 & 0,03 & 0,03 \\ 0,88 & 0,03 & 0,03 & 0,03 & 0,03 \\ 0,03 & 0,03 & 0,03 & 0,88 & 0,455 \\ 0,03 & 0,03 & 0,88 & 0,03 & 0,455 \\ 0,03 & 0,03 & 0,03 & 0,03 & 0,03 \end{pmatrix}$$

I risultati circa il primo esempio sono simili ($x_1 = 0,368$; $x_2 = 0,142$; $x_3 = 0,288$; $x_4 = 0,202$); è interessante notare, invece, che ora è possibile ottenere anche un unico *ranking* per il secondo esempio, caratterizzato –come detto– dalla presenza di due *sub-webs* separati ($x_1 = 0,200$; $x_2 = 0,200$; $x_3 = 0,285$; $x_4 = 0,285$; $x_5 = 0,030$).

CONCLUSIONE

Nelle fasi preliminari di sviluppo di questo elaborato, erano principalmente due i dubbi, o meglio le ipotesi, da verificare man mano che veniva raccolto il materiale e venivano stese le prime bozze di ciascun capitolo: da un lato capire se la metodologia dell'AHP fosse non solo utile nella pratica, ma soprattutto realmente utilizzata in ambito d'impresa; dall'altro, interpretare l'incidenza dello strumento rispetto alla molteplicità di situazioni e di criticità che nell'ambito del management si possono verificare quotidianamente.

Effettivamente, avere a che fare con una metodologia deliziosa da un punto di vista teorico, ma poco sfruttabile all'atto pratico, avrebbe giocoforza orientato questo elaborato verso altre teorie. Questo perché, ormai, ci si è resi conto che le scienze economiche hanno veramente bisogno di teorie che abbraccino sempre di più la pratica, perché solo il legame tra questi due mondi complementari può garantirne una corretta traiettoria di crescita.

Tornando all'elaborato, è possibile dunque affermare che alcune conclusioni positive ed interessanti, rispetto alle ipotesi sopracitate, possono essere tratte.

Dal punto di vista del primo aspetto, la *review* esposta nel secondo capitolo ha messo in luce la modernità, l'attuabilità e, soprattutto, lo sfruttamento reale di questa metodologia: oltre 20.000 articoli accademici, la cui stragrande parte sono produzioni di questo millennio, trattano dell'AHP in merito ad enunciazioni teoriche ed applicazioni pratiche in situazioni ipotizzate e reali (oltre 1500 fanno parte di quel sotto-campione appartenente al mondo del management). Non è un caso che molti degli articoli estratti facciano parte della collana *Procedia*, in quanto quest'ultima raccoglie contributi a convegni e, quindi, fa maggiormente riferimento ad applicazioni pratiche ed aziendali, piuttosto che agli studi di carattere meramente accademico. Sono dati, comunque, che possono essere certamente interpretati come un'importante risultato: l'AHP è (anche) un metodo strategico-decisionale d'impresa.

D'altro canto, come si è visto con gli esempi trattati in dettaglio nel terzo capitolo, è possibile affermare che la metodologia tradizionale,

ideata intorno agli anni ottanta, in molti casi è più che sufficiente a pervenire ad una valutazione, o decisione, performante ed obiettiva.

Come detto, però, manager ed imprenditori si confrontano con problematiche decisionali complesse, che in alcuni casi detengono delle criticità che il modello tradizionale dell'AHP fatica a gestire. Si immagina, ad esempio, l'aver a che fare con una decisione che riguarda una materia nebulosa per il decisore oppure alla presenza di vaghezza nella decisione presa o, ancora, ad una struttura decisionale non rappresentabile con una scala gerarchica.

Come si è visto nel quarto capitolo, per rispondere a criticità come queste sono nati dei filoni di ricerca a partire dal 21° secolo che hanno prodotto una serie di cosiddette tecniche moderne, come la DHP, la F-AHP oppure la ANP. L'uso di queste tecniche, unitamente alle generalizzazioni del teorema di *Perron-Frobenius* (sul quale trova la sua base teorica l'AHP), dona una grande polivalenza a questa metodologia, togliendole, di fatto, il classico problema della “coperta corta”.

Infine, è opinione dell'autore che l'AHP debba essere considerata come una delle metodologie strategiche che permettono ad un decisore, o meglio ad un'impresa, di essere maggiormente performante. La letteratura in materia di AHP, purtroppo, è ancor oggi molto frammentata e, in questo senso, si potrebbe pensare alla possibilità di sviluppare un tomo omnicomprensivo sulla materia, descrivendo con maggior dettaglio la metodologia tradizionale e l'insieme delle tecniche moderne (non solo quelle maggiormente in uso), delineandone pro e contro, al fine di identificare le situazioni in cui applicare una tecnica piuttosto che un'altra.

APPENDICE

1. Computare l'AHP tradizionale con R – 2 Computare l'AHP tradizionale con Excel

Come si è visto nel terzo capitolo, la procedura dell'AHP, nella sua forma tradizionale, necessita di alcuni step e calcoli per ottenere una graduatoria definitiva ed assoluta delle alternative del problema decisionale rispetto ai criteri di confronto selezionati.

In questa appendice vengono presentati tutti questi passaggi: nella prima parte si sviluppa la procedura tramite il software statistico *R*¹, mentre nella seconda si sfrutta il più comune *Excel*².

L'esempio preso in considerazione è quello esposto al paragrafo 3.3 “La definizione di una strategia di mercato”.

Non verranno, inoltre, ri-affrontate in questa sede tutte le formule e le valutazioni relative alla procedura, già ampiamente esposte nel primo capitolo.

1 COMPUTARE L'AHP TRADIZIONALE CON R

Per sviluppare un problema decisionale in *R* è necessario lanciare alcuni comandi dalla console del programma, in maniera del tutto simile a chi programma in *script*. Fortunatamente per chi non ha familiarità con la programmazione, nel caso dell'AHP i comandi da memorizzare e lanciare non sono molti, quindi, l'uso di *R* resta del tutto accessibile.

Nel corso del paragrafo i riquadri grigi rappresentano la console di *R*, dove le righe in grassetto sono i comandi lanciati, mentre quelle normali sono l'eventuale risultato calcolato dal programma.

Partendo con il confronto dei criteri, il primo passaggio è quello di definire la relativa matrice di comparazione (*A_c*), tramite l'uso della funzione *matrix()*.

¹ © The R Foundation, “The R Project for Statistical Computing” (<https://www.r-project.org/>).

² © Microsoft Office, “Excel, foglio di calcolo” (<https://www.microsoft.com/it-it/>).

```
> Ac = matrix(c(1,1/4,1/4,4,1,1,4,1,1),3,3,byrow=T); Ac
  [,1] [,2] [,3]
[1,]  1 0.25 0.25
[2,]  4 1.00 1.00
[3,]  4 1.00 1.00
```

Alcune indicazioni circa i comandi appena esposti: ciò che posto prima del comando uguale “=” è una variabile, che contiene il risultato del comando lanciato (in questo caso la variabile “Ac”, che è la matrice di confronto dei criteri, contiene il risultato del comando *matrix()*, ovvero la matrice stessa, che successivamente potrà essere richiamata semplicemente digitando “Ac” e non dovendo, invece, rilanciare tutto il comando da capo); dopo il punto e virgola “;”, appunto, è stata richiamata la matrice “Ac”, semplicemente digitando il nome dato alla variabile stessa; inoltre, l’uso all’inizio del comando del simbolo cancelletto “#” tramuta il comando in un commento, utile in molti casi per lasciare delle note a video.

Definita la matrice, il comando *eigen()* computa automaticamente l’*eigenvector* che definisce il *ranking* degli elementi appartenenti alla matrice.

```
> # I criteri sono Tempo, Costo e Profitto.
>
> E_Ac = eigen(Ac); E_Ac
$values
[1] 3.000000e+00 -2.220446e-16 0.000000e+00
$vectors
  [,1] [,2] [,3]
[1,] 0.1740777 -0.3333333 0.0000000
[2,] 0.6963106 0.6666667 -0.7071068
[3,] 0.6963106 0.6666667 0.7071068
```

È possibile ora isolare l'autovettore e l'autovalore dalla variabile "E_Ac", normalizzare l'autovettore e, di conseguenza, ottenere le priorità definitive.

```
> Eva_Ac = E_Ac$values[1]; Eva_Ac
[1] 3
> Eve_Ac = E_Ac$vectors[,1]; Eve_Ac
[1] 0.1740777 0.6963106 0.6963106
> r_Ac = Eve_Ac / sum(Eve_Ac); r_Ac
[1] 0.1111111 0.4444444 0.4444444
> sum(r_Ac)
[1] 1
```

La nuova variabile "r_Ac" contiene il ranking dei criteri di confronto (11,2%, 44,4% e 44,4%) e la sua somma, come dimostrato, è pari ad uno.

Infine, l'ultimo passaggio relativo a questa matrice, è verificare che l'indice d'inconsistenza casuale non sia troppo elevato.

```
> ci_Ac = (Eva_Ac - 3)/(3 - 1); ci_Ac
[1] 0
```

Con un autovalore pari a 3 la matrice è perfettamente consistente, infatti l'indice di inconsistenza casuale è pari a 0.

Questi step possono essere reiterati più volte al fine di ottenere tutte le priorità locali delle alternative per ogni criterio (la console, comprensiva di tutti i comandi, è esposta di seguito).

```
> # Le alternative sono le strategie di Differenziazione,  
Costo e Focus.
>
> # Alternative, rispetto al criterio Tempo.
```

```
> Ate = matrix(c(1,1/2,1/4,2,1,1/2,4,2,1),3,3,byrow=T); Ate
      [,1] [,2] [,3]
[1,]  1  0.5 0.25
[2,]  2  1.0 0.50
[3,]  4  2.0 1.00
> E_Ate = eigen(Ate); E_Ate
$values
[1] 3.000000e+00 -2.220446e-16 0.000000e+00
$vectors
      [,1] [,2] [,3]
[1,] 0.2182179 -0.4082483 0.0000000
[2,] 0.4364358 0.4082483 -0.4472136
[3,] 0.8728716 0.8164966 0.8944272
> Eva_Ate = E_Ate$values[1]; Eva_Ate
[1] 3
> Eve_Ate = E_Ate$vectors[,1]; Eve_Ate
[1] 0.2182179 0.4364358 0.8728716
> r_Ate = Eve_Ate / sum(Eve_Ate); r_Ate
[1] 0.1428571 0.2857143 0.5714286
> sum(r_Ate)
[1] 1
> ci_Ate = (Eva_Ate - 3)/(3 - 1); ci_Ate
[1] 0
>
> # Alternative, rispetto al criterio Costo.
> Aco = matrix(c(1,2,1,1/2,1,1/2,1,2,1),3,3,byrow=T); Aco
      [,1] [,2] [,3]
[1,] 1.0  2  1.0
[2,] 0.5  1  0.5
[3,] 1.0  2  1.0
> E_Aco = eigen(Aco); E_Aco
$values
[1] 3.000000e+00 -2.220446e-16 0.000000e+00
$vectors
      [,1] [,2] [,3]
[1,] 0.2182179 -0.4082483 0.0000000
[2,] 0.4364358 0.4082483 -0.4472136
[3,] 0.8728716 0.8164966 0.8944272
```

```

[1,] 0.6666667 -0.8728716 0.0000000
[2,] 0.3333333 0.2182179 -0.4472136
[3,] 0.6666667 0.4364358 0.8944272
> Eva_Aco = E_Aco$values[1]; Eva_Aco
[1] 3
> Eve_Aco = E_Aco$vectors[,1]; Eve_Aco
[1] 0.6666667 0.3333333 0.6666667
> r_Aco = Eve_Aco / sum(Eve_Aco); r_Aco
[1] 0.4 0.2 0.4
> sum(r_Aco)
[1] 1
> ci_Aco = (Eva_Aco - 3)/(3 - 1); ci_Aco
[1] 0
>
> # Alternative, rispetto al criterio Profitto.
> Apr = matrix(c(1,2,3,1/2,1,2,1/3,1/2,1),3,3,byrow=T);
Apr
      [,1] [,2] [,3]
[1,] 1.0000000 2.0 3
[2,] 0.5000000 1.0 2
[3,] 0.3333333 0.5 1
> E_Apr = eigen(Apr); E_Apr
$values
[1] 3.0092027+0.000000i -0.0046014+0.166348i -
0.0046014-0.166348i
$vectors
      [,1] [,2] [,3]
[1,] 0.8467969+0i -0.8467969+0.0000000i -
0.8467969+0.0000000i
[2,] 0.4660103+0i 0.2330052-0.4035768i
0.2330052+0.4035768i
[3,] 0.2564554+0i 0.1282277+0.2220969i 0.1282277-
0.2220969i
> Eva_Apr = Re(E_Aco$values[1]); Eva_Apr
[1] 3

```

```
> Eve_Apr = Re(E_Apr$vector[1]); Eve_Apr  
[1] 0.8467969 0.4660103 0.2564554  
> r_Apr = Eve_Apr / sum(Eve_Apr); r_Apr  
[1] 0.5396146 0.2969613 0.1634241  
> sum(r_Apr)  
[1] 1  
> ci_Apr = (Eve_Apr - 3)/(3 - 1); ci_Apr  
[1] 0
```

Ottenuti tutti i confronti, è possibile computare il *ranking* definitivo e, quindi, l'alternativa preferibile.

```
> r_Ac  
[1] 0.1111111 0.4444444 0.4444444  
> r_D <- c(r_Ate[1], r_Aco[1], r_Apr[1]); r_D  
[1] 0.1428571 0.4000000 0.5396146  
> r_C <- c(r_Ate[2], r_Aco[2], r_Apr[2]); r_C  
[1] 0.2857143 0.2000000 0.2969613  
> r_F <- c(r_Ate[3], r_Aco[3], r_Apr[3]); r_F  
[1] 0.5714286 0.4000000 0.1634241  
> r_D = sum(r_D * r_Ac); r_D  
[1] 0.4334795  
> r_C = sum(r_C * r_Ac); r_C  
[1] 0.2526177  
> r_F = sum(r_F * r_Ac); r_F  
[1] 0.3139028  
> v_r = c(r_D, r_C, r_F); v_r  
[1] 0.4334795 0.2526177 0.3139028  
> sum(v_r)  
[1] 1  
> max(v_r)  
[1] 0.4334795  
> # La Differenziazione è l'alternativa migliore.
```

2 COMPUTARE L’AHP TRADIZIONALE CON EXCEL

Il vantaggio principale di usare *Excel* è la sua immediatezza, d'altronde chiunque prima o dopo ha avuto la possibilità di sfruttare un foglio di calcolo per un qualche fine.

Excel, però, non ha la potenza del motore di calcolo di *R* e questo influenza in parte il processo di computazione dell’AHP, in quanto è necessario fare uso di un paio di approssimazioni per calcolare *eigenvectors* e *eigenvalues*.

Si parte sempre con i criteri, la cui matrice di confronto si compone attraverso l’uso delle celle del foglio di calcolo.

FIG. A.1 – LA MATRICE DI CONFRONTO (EXCEL)

2					
3	Criteri	T	C	P	
4	T	1,0000	0,2500	0,2500	
5	C	4,0000	1,0000	1,0000	
6	P	4,0000	1,0000	1,0000	
7					

A questo punto si attua la prima approssimazione per calcolare il *ranking* della matrice, per il quale si può usare una media geometrica.

FIG. A.2 – L’EIGENVECTOR (EXCEL)

2						
3	Criteri	T	C	P	Media Geom.	Eigenvector
4	T	1,0000	0,2500	0,2500	0,3969	0,1111
5	C	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444
6	P	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444
7					3,5717	
8						

FIG. A.3 – IL CALCOLO DELL'EIGENVECTOR: MEDIA GEOMETRICA (EXCEL)

SOMMA						
=MEDIA.GEOMETRICA(B4:D4)						
	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3	Criteri	T	C	P	Media Geom.	Eigenvector
4	T	1,0000	0,2500	0,2500	ICA(B4:D4)	0,1111
5	C	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444
6	P	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444
7					3,5717	
8						

FIG. A.4 – IL CALCOLO DELL'EIGENVECTOR: SOMMA DELLE MEDIE GEOMETRICHE (EXCEL)

SOMMA						
=SOMMA(E4:E6)						
	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3	Criteri	T	C	P	Media Geom.	Eigenvector
4	T	1,0000	0,2500	0,2500	0,3969	0,1111
5	C	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444
6	P	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444
7					MA(E4:E6)	
8						

FIG. A.5 – IL CALCOLO DELL'EIGENVECTOR: NORMALIZZAZIONE DELLE MEDIE (EXCEL)

SOMMA						
=E4/\$E\$7						
	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3	Criteri	T	C	P	Media Geom.	Eigenvector
4	T	1,0000	0,2500	0,2500	0,3969	=E4/\$E\$7
5	C	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444
6	P	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444
7					3,5717	
8						

Calcolato l'autovettore (colonna "Eigenvector"), è possibile procedere con l'autovalore, per il quale questo procedimento con *Excel* necessita

dell'uso di una media semplice dei tre *eigenvalues* che vengono calcolati (uno per riga, ovvero per criterio).

FIG. A.6 – L'EIGENVALUE (EXCEL)

2							
3	Criteri	T	C	P	Media Geom.	Eigenvector	Matrice Prod.
4	T	1,0000	0,2500	0,2500	0,3969	0,1111	0,3333
5	C	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444	1,3333
6	P	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444	1,3333
7					3,5717		
8							

FIG. A.7 – IL CALCOLO DELL'EIGENVALUE: PRODOTTO DEI VETTORI (EXCEL)

SOMMA								=MATR.PRODOTTO(B4:D4;\$F\$4:\$F\$6)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	
1									
2									
3	Criteri	T	C	P	Media Geom.	Eigenvector	Matrice Prod.	Eigenvalue	
4	T	1,0000	0,2500	0,2500	0,3969	0,1111	\$F\$4:\$F\$6	3,0000	
5	C	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444	1,3333	3,0000	
6	P	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444	1,3333	3,0000	
7					3,5717			3,0000	
8									

FIG. A.8 – IL CALCOLO DELL'EIGENVALUE: RAPPORTO TRA EIGENVECTOR E PRODOTTO DEI VETTORI (EXCEL)

SOMMA								=G4/F4	
	A	B	C	D	E	F	G	H	
1									
2									
3	Criteri	T	C	P	Media Geom.	Eigenvector	Matrice Prod.	Eigenvalue	
4	T	1,0000	0,2500	0,2500	0,3969	0,1111	0,3333	=G4/F4	
5	C	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444	1,3333	3,0000	
6	P	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444	1,3333	3,0000	
7					3,5717			3,0000	
8									

FIG. A.9 – IL CALCOLO DELL'EIGENVALUE: MEDIA DEGLI EIGENVALUES (EXCEL)

SOMMA								=MEDIA(H4:H6)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	
1									
2									
3	Criteri	T	C	P	Media Geom.	Eigenvector	Matrice Prod.	Eigenvalue	
4	T	1,0000	0,2500	0,2500	0,3969	0,1111	0,3333	3,0000	
5	C	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444	1,3333	3,0000	
6	P	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444	1,3333	3,0000	
7					3,5717			MEDIA(H4:H6)	
8									

Si procede, quindi, alla verifica della consistenza della matrice tramite l'apposita formula.

FIG. A.10 – L'INDICE DI CONSISTENZA CASUALE (EXCEL)

2									
3	Criteri	T	C	P	Media Geom.	Eigenvector	Matrice Prod.	Eigenvalue	C. I.
4	T	1,0000	0,2500	0,2500	0,3969	0,1111	0,3333	3,0000	0,0000
5	C	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444	1,3333	3,0000	
6	P	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444	1,3333	3,0000	
7					3,5717			3,0000	
8									

FIG. A.11 – IL CALCOLO DELL'INDICE DI CONSISTENZA CASUALE: FORMULA CLASSICA (EXCEL)

SOMMA									
= (H7-3)/(3-1)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3	Criteri	T	C	P	Media Geom.	Eigenvector	Matrice Prod.	Eigenvalue	C. I.
4	T	1,0000	0,2500	0,2500	0,3969	0,1111	0,3333	3,0000	= (H7-3)/(3-1)
5	C	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444	1,3333	3,0000	
6	P	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444	1,3333	3,0000	
7					3,5717			3,0000	
8									

Reiterando la procedura appena descritta anche per il confronto delle alternative si ottengono i risultati esposti in Figura A12.

FIG. A.12 – IL CONFRONTO DELLE ALTERNATIVE (EXCEL)

10									
11	Tempo	C	D	F	Media Geom.	Eigenvector	Matrice Prod.	Eigenvalue	C. I.
12	C	1,0000	0,5000	0,2500	0,5000	0,1429	0,4286	3,0000	0,0000
13	D	2,0000	1,0000	0,5000	1,0000	0,2857	0,8571	3,0000	
14	F	4,0000	2,0000	1,0000	2,0000	0,5714	1,7143	3,0000	
15					3,5000			3,0000	
16									
17	Costo	C	D	F	Media Geom.	Eigenvector	Matrice Prod.	Eigenvalue	C. I.
18	C	1,0000	2,0000	1,0000	1,2599	0,4000	1,2000	3,0000	0,0000
19	D	0,5000	1,0000	0,5000	0,6300	0,2000	0,6000	3,0000	
20	F	1,0000	2,0000	1,0000	1,2599	0,4000	1,2000	3,0000	
21					3,1498			3,0000	
22									
23	Profitto	C	D	F	Media Geom.	Eigenvector	Matrice Prod.	Eigenvalue	C. I.
24	C	1,0000	2,0000	3,0000	1,8171	0,5396	1,6238	3,0092	0,0046
25	D	0,5000	1,0000	2,0000	1,0000	0,2970	0,8936	3,0092	
26	F	0,3333	0,5000	1,0000	0,5503	0,1634	0,4918	3,0092	
27					3,3674			3,0092	
28									

L'ultimo step è rappresentato dal calcolo delle priorità globali, che si ottiene pesando i *ranking* locali ottenuti dalle alternative per il peso di ciascun criterio.

FIG. A.13 – IL RANKING DEFINITIVO (EXCEL)

30				
31	Alternative	Ranking		
32	C	0,4335		
33	D	0,2526		
34	F	0,3139		
35				

FIG. A.14 – IL CALCOLO DEL RANKING: PRIORITÀ LOCALI PESATE (EXCEL)

SOMMA									
=(F12*\$F\$4)+(F18*\$F\$5)+(F24*\$F\$6)									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1									
2									
3	Criteria	T	C	P	Media Geom.	Eigenvector	Matrice Prod.	Eigenvalue	C. I.
4	T	1,0000	0,2500	0,2500	0,3969	0,1111	0,3333	3,0000	0,0000
5	C	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444	1,3333	3,0000	
6	P	4,0000	1,0000	1,0000	1,5874	0,4444	1,3333	3,0000	
7					3,5717			3,0000	
8									
9									
10									
11	Tempo	C	D	F	Media Geom.	Eigenvector	Matrice Prod.	Eigenvalue	C. I.
12	C	1,0000	0,5000	0,2500	0,5000	0,1429	0,4286	3,0000	0,0000
13	D	2,0000	1,0000	0,5000	1,0000	0,2857	0,8571	3,0000	
14	F	4,0000	2,0000	1,0000	2,0000	0,5714	1,7143	3,0000	
15					3,5000			3,0000	
16									
17	Costo	C	D	F	Media Geom.	Eigenvector	Matrice Prod.	Eigenvalue	C. I.
18	C	1,0000	2,0000	1,0000	1,2599	0,4000	1,2000	3,0000	0,0000
19	D	0,5000	1,0000	0,5000	0,6300	0,2000	0,6000	3,0000	
20	F	1,0000	2,0000	1,0000	1,2599	0,4000	1,2000	3,0000	
21					3,1498			3,0000	
22									
23	Profitto	C	D	F	Media Geom.	Eigenvector	Matrice Prod.	Eigenvalue	C. I.
24	C	1,0000	2,0000	3,0000	1,8171	0,5396	1,6238	3,0092	0,0046
25	D	0,5000	1,0000	2,0000	1,0000	0,2970	0,8936	3,0092	
26	F	0,3333	0,5000	1,0000	0,5503	0,1634	0,4918	3,0092	
27					3,3674			3,0092	
28									
29									
30									
31	Alternative	Ranking							
32	C	(F24*\$F\$6)							
33	D	0,2526							
34	F	0,3139							
35									

Come si può notare facilmente i risultati dati dalle approssimazioni di Excel sono quasi identici rispetto alla computazione eseguita tramite R. Questo risultato è valido principalmente per problemi decisionali ben costruiti, nei quali ciascuna matrice di confronto è consistente.

Dopo una lunga gestazione, finalmente sono arrivato alla conclusione di questo elaborato e desidero spendere queste poche righe per ringraziare sinceramente chi mi ha sostenuto ed aiutato. Sebbene non credo che sia già giunto al termine, tutto il periodo universitario è stato fonte di un profondo apprendimento, non solo dal punto di vista scientifico, ma anche personale.

Voglio, anzitutto, ringraziare Paolo Prof. Pellizzari, relatore di questa tesi di laurea, i cui preziosi suggerimenti, precisi consigli, unitamente ad un'ammirevole disponibilità e comprensione, hanno permesso a questo testo di prendere vita.

Desidero ringraziare, inoltre, i miei datori di lavoro, Marco e Claudio, assieme a tutti i miei fantastici colleghi. Siete fonte di ispirazione e mi state dando la possibilità di crescere dal punto di vista professionale ed umano. Questo è impagabile.

Infine, un ringraziamento speciale va alla mia famiglia, compresa la mia fidanzata Martina ed i miei amici più stretti. Il vostro dolce ed instancabile sostegno mi ha dato la forza per superare alcuni momenti di grossa difficoltà. Ho la ferrea certezza che senza di voi non sarei arrivato fin qui.

Di nuovo grazie.

Dott. Matteo Vistosi

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Di seguito sono esposti tutti gli articoli, i testi ed i siti web che sono stati sfruttati durante la stesura di questo elaborato.

1. BIBLIOGRAFIA

A. Aksoy, E. Sucky, N. Öztürk, "Dynamic Strategic Supplier Selection System With Fuzzy Logic", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 109, 2014, pagg. 1059-1063.

A. Arbel, Y. E. Orgler, "An application of the AHP to bank strategic planning: The mergers and acquisitions process", *European Journal of Operational Research*, 98, 1990, pagg. 27-37.

A. Arof, "The Application of a Combined Delphi-AHP Method in Maritime Transport Research-A Review", *Asian Social Science*, 23, 2015, pagg. 73-82.

A. Azadnia, M. Saman, K. Wong, P. Ghadimi, N. Zakuan, "Sustainable Supplier Selection based on Self-organizing Map Neural Network and Multi Criteria Decision Making Approaches", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 65, 2012, pagg. 879-884.

A. Badea, G. Prosteian, G. Goncalves, H. Allaoui, "Assessing Risk Factors in Collaborative Supply Chain with the Analytic Hierarchy Process (AHP)", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 124, 2014, pagg. 114-123.

A. Cengiz, O. Aytakin, I. Ozdemir, H. Kusan, A. Cabuk, "A Multi-criteria Decision Model for Construction Material Supplier Selection", *Procedia Engineering*, 196, 2017, pagg. 294-301.

A. Chandler, "Strategy and structure: chapters in the history of the industrial enterprise", Cambridge: M.I.T. Press, 1962.

A. Erdil, H. Erbiyık, "Selection Strategy via Analytic Hierarchy Process: An Application for a Small Enterprise in Milk Sector", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2015, pagg. 2618-2628.

A. Görener, K. Toker, K. Uluçay, "Application of Combined SWOT and AHP: A Case Study for a Manufacturing Firm", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 58, 2012, pagg. 1525-1534.

- A. Guritno, R. Fujianti, D. Kusumasari, "Assessment of the Supply Chain Factors and Classification of Inventory Management in Suppliers' Level of Fresh Vegetables", *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3, 2015, pagg. 51-55.
- A. Haldar, D. Banerjee, A. Ray, S. Ghosh, "An Integrated Approach for Supplier Selection", *Procedia Engineering*, 38, 2012, pagg. 2087-2102.
- A. Jayant, P. Gupta, S. Garg, M. Khan, "TOPSIS-AHP Based Approach for Selection of Reverse Logistics Service Provider: A Case Study of Mobile Phone Industry", *Procedia Engineering*, 97, 2014, pagg. 2147-2156.
- A. Kroenke, N. Hein, "Avaliação de empresas por meio de indicadores de atividade: uma aplicação do método AHP", *REGE - Revista de Gestão*, 18, 2011, pagg. 605-620.
- A. Kulatunga, N. Karunatilake, N. Weerasinghe, R. Ihalawatta, "Sustainable Manufacturing based Decision Support Model for Product Design and Development Process", *Procedia CIRP*, 26, 2015, pagg. 87-92.
- A. Longaray, J. Gois, P. Munhoz, "Proposal for using AHP Method to Evaluate the Quality of Services Provided by Outsourced Companies", *Procedia Computer Science*, 55, 2015, pagg. 715-724.
- A. Neves, R. Camanho, "The Use of AHP for IT Project Prioritization – A Case Study for Oil & Gas Company", *Procedia Computer Science*, 55, 2015, pagg. 1097-1105.
- A. Nurdiana, M. Wibowo, J. Hatmoko, "Sensitivity Analysis of Risk from Stakeholders' Perception Case Study: Semarang-solo Highway Project Section I (Tembalang-Gedawang)", *Procedia Engineering*, 125, 2015, pagg. 12-17.
- A. Riahi, M. Moharrampour, "Evaluation of Strategic Management in Business with AHP Case Study: PARS House Appliance", *Procedia Economics and Finance*, 36, 2016, pagg. 10-21.
- A. Sadeghi, A. Azar, R. Rad, "Developing a Fuzzy Group AHP Model for Prioritizing the Factors Affecting Success of High-Tech SME's in Iran: A Case Study", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 62, 2012, pagg. 957-961.
- B. Rouyendegh (Babek Erdebilli), T. Saputro, "Supplier Selection Using Integrated Fuzzy TOPSIS and MCGP: A Case Study", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 2014, pagg. 3957-3970.

- C. Jian, Y. Xuhong, Q. Yu, L. Yiner, "An Integrative Decision-making Model for the Operation of Sustainable Supply Chain in China", *Energy Procedia*, 5, 2011, pagg. 1497-1501.
- C. Kahraman, U. Cebeci, Z. Ulukan, "Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP", *Logistics Information Management*, 16, 2003, pagg. 382-394.
- C. R. MacCluer, "The Many Proofs and Applications of Perron's Theorem", *SIAM Reviews*, 42, 2000, pagg. 487-498.
- C. Sekhar, M. Patwardhan, V. Vyas, "A Delphi-AHP-TOPSIS Based Framework for the Prioritization of Intellectual Capital Indicators: A SMEs Perspective", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 189, 2015, pagg. 275-284.
- Ç. Sofyalıoğlu, B. Kartal, "The Selection of Global Supply Chain Risk Management Strategies by Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process – A Case from Turkey", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 58, 2012, pagg. 1448-1457.
- C. Tramarico, . Daniele Mizuno, V. Salomon, F. Marins, "Analytic Hierarchy Process and Supply Chain Management: A Bibliometric Study", *Procedia Computer Science*, 55, 2015, pagg. 441-450.
- D. Podgórski, "Measuring operational performance of OSH management system – A demonstration of AHP-based selection of leading key performance indicators", *Safety Science*, 73, 2015, pagg. 146-166.
- D. Simić, I. Kovačević, V. Svirčević, S. Simić, "50 years of fuzzy set theory and models for supplier assessment and selection: A literature review", *Journal of Applied Logic*, 24, 2017, pagg. 85-96.
- D. Tomasz, "A Method to Select an IT System for a Logistics Company. A Highly Efficient Infrastructure to Respond, change and to Drive Innovation", *Transportation Research Procedia*, 16, 2016, pagg. 54-60.
- D. Zhao, Y. Fang, "Can Representation Bias Help the Returns Forecast and Portfolio Selection?", *Procedia Computer Science*, 17, 2013, pagg. 603-610.
- E. Aksakal, M. Dağdeviren, "Analyzing Reward Management Framework with Multi Criteria Decision Making Methods", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 147, 2014, pagg. 147-152.

- E. Amrina, A. Vilsu, "Key Performance Indicators for Sustainable Manufacturing Evaluation in Cement Industry", *Procedia CIRP*, 26, 2015, pagg. 19-23.
- E. Eraslan, K. Atalay, M. Dagdeviren, E. Aksakal, "Using Fuzzy Wage Management System in Heavy Industry", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 73, 2013, pagg. 7-13.
- E. Radziszewska-Zielina, B. Szewczyk, "Supporting Partnering Relation Management in the Implementation of Construction Projects Using AHP and Fuzzy AHP Methods", *Procedia Engineering*, 161, 2016, pagg. 1096-1100.
- F. J. Sulloway, "Born to Rebel: Birth Order, Family Dynamics, and Creative Lives", Pantheon Books, 1996.
- F. Kog, H. Yaman, "A Meta Classification and Analysis of Contractor Selection and Prequalification", *Procedia Engineering*, 85, 2014, pagg. 302-310.
- F. Y. Partovi, "An analytic hierarchy approach to activity-based costing", *International Journal of Production Economics*, 22, 1991, pagg. 151-161.
- G. Campeol, S. Carollo, N. Masotto, "Infrastructural Projects and Territorial Development in Veneto Dolomites: Evaluation of Performances through AHP", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 223, 2016, pagg. 468-474.
- G. Polat, E. Eray, "An Integrated Approach using AHP-ER to Supplier Selection in Railway Projects", *Procedia Engineering*, 123, 2015, pagg. 415-422.
- G. Rajesh, P. Malliga, "Supplier Selection based on AHP QFD Methodology", *Procedia Engineering*, 64, 2013, pagg. 1283-1292.
- H. Afonso, M. Cabrita, "Developing a Lean Supply Chain Performance Framework in a SME: A Perspective Based on the Balanced Scorecard", *Procedia Engineering*, 131, 2015, pagg. 270-279.
- H. Jayawickrama, A. Kulatunga, S. Mathavan, "Fuzzy AHP based Plant Sustainability Evaluation Method", *Procedia Manufacturing*, 8, 2017, pagg. 571-578.
- H. Kazan, M. Ertok, C. Ciftci, "Application of a Hybrid Method in the Financial Analysis of Firm Performance", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2015, pagg. 403-412.

- H. Pakizehkar, M. Sadrabadi, R. Mehrjardi, A. Eshaghieh, "The Application of Integration of Kano's Model, AHP Technique and QFD Matrix in Prioritizing the Bank's Substructions", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 230, 2016, pagg. 159-166.
- H. Shakerian, H. Dehnavi, S. Ghanad, "The Implementation of the Hybrid Model SWOT-TOPSIS by Fuzzy Approach to Evaluate and Rank the Human Resources and Business Strategies in Organizations (Case Study: Road and Urban Development Organization in Yazd)", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 230, 2016, pagg. 307-316.
- H. Tang, "Constructing a competence model for international professionals in the MICE industry: An analytic hierarchy process approach", *Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education*, 15, 2014, pagg. 34-49.
- I. Bukhori, K. Widodo, D. Ismoyowati, "Evaluation of Poultry Supply Chain Performance in XYZ Slaughtering House Yogyakarta Using SCOR and AHP Method", *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3, 2015, pagg. 221-225.
- I. Temiz, G. Calis, "Selection of Construction Equipment by using Multi-criteria Decision Making Methods", *Procedia Engineering*, 196, 2017, pagg. 286-293.
- J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott, "Multi Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys", Springer-Verlag New York, 2005.
- J. García Alcaraz, A. Alvarado Iniesta, A. Maldonado Macías, "Selección de proveedores basada en análisis dimensional", *Contaduría y Administración*, 58, 2013, pagg. 249-278.
- J. Gorgulho, J. Tavares, C. Páscoa, J. Tribolet, "Governance: Decision-making Model and Cycle", *Procedia Computer Science*, 64, 2015, pagg. 578-585.
- J. Greitemann, E. Christ, A. Matzat, G. Reinhart, "Strategic Evaluation of Technological Capabilities, Competencies and Core-Competencies of Manufacturing Companies", *Procedia CIRP*, 19, 2014, pagg. 57-62.
- J. P. Keener, "The Perron-Frobenius Theorem and The Ranking of Football Teams", *SIAM Reviews*, 35, 1993, pagg. 80-93.
- J. Peng, "Selection of Logistics Outsourcing Service Suppliers Based on AHP", *Energy Procedia*, 17, 2012, pagg. 595-601.

- J. Piasny, J. Paślawski, "Selection of Subcontractors as the Quality Improvement Tool in Housing Construction", *Procedia Engineering*, 122, 2015, pagg. 274-281.
- J. Scott, W. Ho, P. Dey, S. Talluri, "A decision support system for supplier selection and order allocation in stochastic, multi-stakeholder and multi-criteria environments", *International Journal of Production Economics*, 166, 2015, pagg. 226-237.
- J. Willmer Escobar, "Metodología para la toma de decisiones de inversión en portafolio de acciones utilizando la técnica multicriterio AHP", *Contaduría y Administración*, 60, 2015, pagg. 346-366.
- J. Žak, "Comparative Analysis of Multiple Criteria Evaluations of Suppliers in Different Industries", *Transportation Research Procedia*, 10, 2015, pagg. 809-819.
- K. Bryan, T. Leise, "The \$25,000,000,000 Eigenvector: The Linear Algebra behind Google", *SIAM Reviews*, 48, 2006, pagg. 569-581.
- K. Phudphad, B. Watanapa, W. Krathu, S. Funilkul, "Rankings of the security factors of human resources information system (HRIS) influencing the open climate of work: using analytic hierarchy process (AHP)", *Procedia Computer Science*, 111, 2017, pagg. 287-293.
- K. UmaDevi, C. Elango, R. Rajesh, "VENDOR SELECTION USING AHP", *Procedia Engineering*, 38, 2012, pagg. 1946-1949.
- K. Veni, R. Rajesh, S. Pugazhendhi, "Development of Decision Making Model Using Integrated AHP and DEA for Vendor Selection", *Procedia Engineering*, 38, 2012, pagg. 3700-3708.
- K. Villafán Vidales, D. Ayala Ortiz, "Responsabilidad social de las empresas agrícolas y agroindustriales aguacateras de Uruapan, Michoacán, y sus implicaciones en la competitividad", *Contaduría y Administración*, 59, 2014, pagg. 223-251.
- K. Zare, J. Mehri-Tekmeh, S. Karimi, "A SWOT framework for analyzing the electricity supply chain using an integrated AHP methodology combined with fuzzy-TOPSIS", *International Strategic Management Review*, 3, 2015, pagg. 66-80.
- L. A. Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 3, 1973, pagg. 28-44.

- L. Abdullah, S. Jaafar, I. Taib, "Ranking of Human Capital Indicators Using Analytic Hierarchy Process", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 107, 2013, pagg. 22-28.
- L. Barbosa, L. Gomes, "Assessment of Efficiency and Sustainability in a Chemical Industry Using Goal Programming and AHP", *Procedia Computer Science*, 55, 2015, pagg. 165-174.
- L. Buzzavo, "Strategy in three dimensions. Perspectives for strategy innovation", CEDAM, 2012.
- L. Peiyu, L. Dong, "The New Risk Assessment Model for Information System in Cloud Computing Environment", *Procedia Engineering*, 15, 2011, pagg. 3200-3204.
- L. Vidal, F. Marle, J. Bocquet, "Using a Delphi process and the Analytic Hierarchy Process (AHP) to evaluate the complexity of projects", *Expert Systems with Applications*, 38, 2011, pagg. 5388-5405.
- M. A. Mustafa, "Project Risk Assessment Using the Analytic Hierarchy Process", *Transactions on Engineering Management*, 38, 1991, pagg. 46-52.
- M. Alomar, Z. Pasek, "Linking Supply Chain Strategy and Processes to Performance Improvement", *Procedia CIRP*, 17, 2014, pagg. 628-634.
- M. Ayhan, "A Fuzzy AHP Approach for Supplier Selection Problem: A Case Study in a Gear Motor Company", *International Journal of Managing Value and Supply Chains*, 3, 2013, pagg. 11-23.
- M. E. Porter, "The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance", NY: Free Press, 1985.
- M. Galankashi, A. Chegeni, A. Soleimanyanadegany, A. Memari, A. Anjomshoae, S. Helmi, A. Dargi, "Prioritizing Green Supplier Selection Criteria Using Fuzzy Analytical Network Process", *Procedia CIRP*, 26, 2015, pagg. 689-694.
- M. Galankashi, S. Helmi, P. Hashemzahi, "Supplier selection in automobile industry: A mixed balanced scorecard–fuzzy AHP approach", *Alexandria Engineering Journal*, 55, 2016, pagg. 93-100.
- M. Hassan, M. Saman, S. Sharif, B. Omar, "An Integrated MA-AHP Approach for Selecting the Highest Sustainability Index of a New Product", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 57, 2012, pagg. 236-242.
- M. K. Fageha, A. A. Aibinu, "Identifying stakeholders' involvement that enhances project scope definition completeness in Saudi Arabian public

- building projects", *Built Environment Project and Asset Management*, 6, 2016, pagg. 6-29.
- M. Moshref Javadi, Z. Azmoon, "Ranking branches of System Group company in Terms of acceptance preparation of electronic Customer Relationship Management using AHP method", *Procedia Computer Science*, 3, 2011, pagg. 1243-1248.
- M. Shaverdi, M. Heshmati, E. Eskandaripour, A. Tabar, "Developing Sustainable SCM Evaluation Model Using Fuzzy AHP in Publishing Industry", *Procedia Computer Science*, 17, 2013, pagg. 340-349.
- M. Shaverdi, M. Heshmati, I. Ramezani, "Application of Fuzzy AHP Approach for Financial Performance Evaluation of Iranian Petrochemical Sector", *Procedia Computer Science*, 31, 2014, pagg. 995-1004.
- M. Tyagi, P. Kumar, D. Kumar, "A Hybrid Approach using AHP-TOPSIS for Analyzing e-SCM Performance", *Procedia Engineering*, 97, 2014, pagg. 2195-2203.
- M. Wibowo, M. Sholeh, "The Analysis of Supply Chain Performance Measurement at Construction Project", *Procedia Engineering*, 125, 2015, pagg. 25-31.
- N. C. Dalkey, O. Helmer, "An experimental application of the Delphi method to the use of experts", *Management Science*, 9, 1963, pagg. 458-467.
- N. Manteghi, M. Jahromi, "Propose a model to choose best project by AHP in distributed generation", *Procedia Technology*, 1, 2012, pagg. 481-484.
- N. Rahmani, A. Talebpour, T. Ahmadi, "Developing a Multi Criteria Model for Stochastic IT Portfolio Selection by AHP Method", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 62, 2012, pagg. 1041-1045.
- N. Rodríguez-Padial, M. Marín, R. Domingo, "Strategic Framework to Maintenance Decision Support Systems", *Procedia Engineering*, 132, 2015, pagg. 903-910.
- N. Subramanian, R. Ramanathan, "A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management", *International Journal of Production Economics*, 138, 2012, pagg. 215-241.
- N. Tapoglou, J. Mehnen, "Cloud-based Job Dispatching Using Multi-criteria Decision Making", *Procedia CIRP*, 41, 2016, pagg. 661-666.

- O. Bologa, R. Breaz, S. Racz, M. Crenganiş, "Decision-making tool for moving from 3-axes to 5-axes CNC machine-tool", *Procedia Computer Science*, 91, 2016, pagg. 184-192.
- O. Bologa, R. Breaz, S. Racz, M. Crenganiş, "Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) in evaluating the decision of moving to a manufacturing process based upon continuous 5 axes CNC machine-tools", *Procedia Computer Science*, 91, 2016, pagg. 683-689.
- O. Demirtas, "Evaluating the Core Capabilities for Strategic Outsourcing Decisions at Aviation Maintenance Industry", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 99, 2013, pagg. 1134-1143.
- Ö. Gürcan, İ. Yazıcı, Ö. Beyca, Ç. Arslan, F. Eldemir, "Third Party Logistics (3PL) Provider Selection with AHP Application", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 235, 2016, pagg. 226-234.
- O. Helmer, N. Rescher, "On the epistemology of the inexact science", *Management Science*, 6, 1959, pagg. 25-53.
- O. Kilincci, S. A. Onal, "Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company", *Expert Systems with Applications*, 38, 2011, pagg. 9656–9664.
- P. Ávila, A. Mota, A. Pires, J. Bastos, G. Putnik, J. Teixeira, "Supplier's Selection Model based on an Empirical Study", *Procedia Technology*, 5, 2012, pagg. 625-634.
- P. Goyal, Z. Rahman, A. A. Kazmi, "Identification and prioritization of corporate sustainability practices using analytical hierarchy process", *Journal of Modelling in Management*, 10, 2015, pagg. 23-49.
- P. Parthiban, H. Zubar, C. Garge, "A Multi Criteria Decision Making Approach for Suppliers Selection", *Procedia Engineering*, 38, 2012, pagg. 2312-2328.
- P. Pellizzari, "Metodi Matematici Per Le Decisioni D'Impresa", *Università Ca' Foscari*, 2015.
- P. S. Fong, S. K. Choi, "Final contractor selection using the analytical hierarchy process", *Construction Management and Economics*, 18, 2000, pagg. 547-557.
- R. Astuti, R. Silalahi, G. Wijaya, "Marketing Strategy Based on Marketing Mix Influence on Purchasing Decisions of Malang Apples Consumers at Giant Olympic Garden Mall (MOG), Malang City, East Java Province, Indonesia", *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3, 2015, pagg. 67-71.

- R. Attri, S. Grover, "Application of preference selection index method for decision making over the design stage of production system life cycle", *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 27, 2015, pagg. 207-216.
- R. Elhuni, M. Ahmad, "Key Performance Indicators for Sustainable Production Evaluation in Oil and Gas Sector", *Procedia Manufacturing*, 11, 2017, pagg. 718-724.
- R. Kusumawardani, M. Agintiara, "Application of Fuzzy AHP-TOPSIS Method for Decision Making in Human Resource Manager Selection Process", *Procedia Computer Science*, 72, 2015, pagg. 638-646.
- R. L. Nydick, R. P. Hill, "Using the Analytic Hierarchy Process to Structure the Supplier Selection Procedure", *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 28, 1992, pagg. 31-36.
- R. Likert, "Technique for the measure of attitudes", *Archives of Psychology*, 140, 1932, pagg. 5-55.
- R. Mavi, M. Goh, N. Mavi, "Supplier Selection with Shannon Entropy and Fuzzy TOPSIS in the Context of Supply Chain Risk Management", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 235, 2016, pagg. 216-225.
- R. Mills, L. Newnes, A. Nassehi, "Balancing Global Customer Needs and Profitability Using a Novel Business Model for New Model Programmes in the Automotive Industry", *Procedia CIRP*, 52, 2016, pagg. 56-61.
- R. Sari, "Integration of Key Performance Indicator into the Corporate Strategic Planning: Case Study at PT. Inti Luhur Fuja Abadi, Pasuruan, East Java, Indonesia", *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3, 2015, pagg. 121-126.
- R. W. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process. What it is and how it is used", *Math Modelling*, 9, 1987, pagg. 161-176.
- S. Butzer, S. Schötz, M. Petroschke, R. Steinhilper, "Development of a Performance Measurement System for International Reverse Supply Chains", *Procedia CIRP*, 61, 2017, pagg. 251-256.
- S. Divahar, C. Sudhahar, "Selection of Reverse Logistics Provider Using AHP", *Procedia Engineering*, 38, 2012, pagg. 2005-2008.
- S. Erdogan, J. Šaparauskas, Z. Turskis, "Decision Making in Construction Management: AHP and Expert Choice Approach", *Procedia Engineering*, 172, 2017, pagg. 270-276.

- S. Gupta, G. Dangayach, A. Singh, P. Rao, "Analytic Hierarchy Process (AHP) Model for Evaluating Sustainable Manufacturing Practices in Indian Electrical Panel Industries", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 189, 2015, pagg. 208-216.
- S. Gupta, G. S. Dangayach, A. K. Singh, P. N. Rao, "Analytic Hierarchy Process (AHP) Model for Evaluating Sustainable Manufacturing Practices in Indian Electrical Panel Industries", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 189, 2015, pagg. 208-216.
- S. Kumar, S. Luthra, A. Haleem, S. Mangla, D. Garg, "Identification and evaluation of critical factors to technology transfer using AHP approach", *International Strategic Management Review*, 3, 2015, pagg. 24-42.
- S. Nikghadam, A. Ozbayoglu, H. Unver, S. Kilic, "Design of a Customer's Type Based Algorithm for Partner Selection Problem of Virtual Enterprise", *Procedia Computer Science*, 95, 2016, pagg. 467-474.
- Ş. Şeker, M. Özgürler, "Analysis of the Turkish Consumer Electronics Firm using SWOT-AHP Method", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 58, 2012, pagg. 1544-1554.
- S. Sokhanvar, J. Matthews, P. Yarlagaadda, "Importance of Knowledge Management Processes in a Project-based organization: A Case Study of Research Enterprise", *Procedia Engineering*, 97, 2014, pagg. 1825-1830.
- S. Vashishtha, M. Ramachandran, "Multicriteria evaluation of demand side management (DSM) implementation strategies in the Indian power sector", *Energy*, 31, 2006, pagg. 2210-2225.
- S. Wiratno, E. Latiffianti, K. Wirawan, "Selection of Business Funding Proposals Using Analytic Network Process: A Case Study at a Venture Capital Company", *Procedia Manufacturing*, 4, 2015, pagg. 237-243.
- T. Bartusková, A. Kresta, "Application of AHP Method in External Strategic Analysis of the Selected Organization", *Procedia Economics and Finance*, 30, 2015, pagg. 146-154.
- T. Di Fondo, F. Lisi, "Serie storiche economiche. Analisi statistiche e applicazioni", Carrocci Editore, 2005.
- T. L. Saaty, "Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process: the Organization and Prioritization of Complexity", RWS Publications, 1996.

- T. L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, 1980.
- T. L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation", McGraw-Hill, 1988.
- T. L. Saaty, "Theory and Applications of the Analytic Network Process", RWS Publications, 2005.
- T. L. Saaty, M. Ozdemir, "The Encyclicon", RWS Publications, 2005.
- T. Wang, B. Xin, L. Qin, "AHP-Based Capacity Evaluation of Enterprise Development", *Procedia Engineering*, 15, 2011, pagg. 4693-4696.
- V. Keršulienė, Z. Turskis, "An Integrated Multi-criteria Group Decision Making Process: Selection of the Chief Accountant", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 110, 2014, pagg. 897-904.
- V. Mani, R. Agrawal, V. Sharma, "Supplier selection using social sustainability: AHP based approach in India", *International Strategic Management Review*, 2, 2014, pagg. 98-112.
- V. Shahhosseini, M. Sebt, "Competency-based selection and assignment of human resources to construction projects", *Scientia Iranica*, 18, 2011, pagg. 163-180.
- W. Ossadnik, O. Lange, "AHP-based evaluation of AHP-Software", *European Journal of Operational Research*, 118, 1999, pagg. 578-588.
- W. Zuo, Q. Wang, P. Yang, "Research on the Current Situation of Peasant-Workers in Construction Industry Based on AHP", *Systems Engineering Procedia*, 5, 2012, pagg. 405-411.
- Y. Boujelbene, A. Derbel, "The performance analysis of public transport operators in Tunisia using AHP method", *Procedia Computer Science*, 73, 2015, pagg. 498-508.
- Y. Chang, H. Ishii, "Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Approach to Assess the Project Quality Management in Project", *Procedia Computer Science*, 22, 2013, pagg. 928-936.
- Y. Kim, S. Park, Y. Sawng, "Improving new product development (NPD) process by analyzing failure cases", *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 10, 2016, pagg. 134-150.
- Y. Zhu, H. Lei, "Fuzzy AHP Analysis on Enterprises' Independent Innovation Capability Evaluation", *Physics Procedia*, 24, 2012, pagg. 1285-1291.
- Z. Dohnalová, B. Zimola, "Corporate Stakeholder Management", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 110, 2014, pagg. 879-886.

2. SITOGRAFIA

Business Dictionary (<http://www.businessdictionary.com>).

Emerald Insight (<http://www.emeraldinsight.com>).

Ingenta Connect (<http://www.ingentaconnect.com>).

RAND Corporation (<https://www.rand.org/>).

Science Direct (<https://www.sciencedirect.com>).

SuperDecisions (<https://superdecisions.com/>).

The Comprehensive R Archive Network (<https://cran.r-project.org>).

Wikipedia (<https://it.wikipedia.org>).