

POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Edile/Architettura

Corso di Laurea Magistrale in  
Ingegneria dei Sistemi Edilizi



## **STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE**

**Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari.**

Relatore: Prof. Ing. Fulvio RE CECCONI

Co - relatore: Prof. Ing. Giuseppe RIGAMONTI

Tesi di Laurea Magistrale di:

Andrea Paolo CERA            Matr. 735903

Corrado PREMOLI:            Matr. 734300

ANNO ACCADEMICO 2009 - 2010



# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

## INDICE DEI CAPITOLI

1 INTRODUZIONE	19
2 STATO DELL'ARTE	23
2.1 LA STIMA DEI COSTI	23
2.2 MODELLI PARAMETRICI E RETI NEURALI PER LA STIMA DEI COSTI DI PRODUZIONE: UN'INTRODUZIONE E UN CONFRONTO	25
2.3 STATO DI FATTO DEI MODELLI DI COSTO PARAMETRICI	30
2.4 CRITERI ED ELABORAZIONE DEI COSTI NEI MODELLI PARAMETRICI	35
2.5 NOTA METODOLOGICA	37
2.6 CASI PRATICI	38
2.6.1 VILLA SINGOLA DI PREGIO	38
2.6.2 EDIFICIO RESIDENZIALE PLURIPIANO	44
2.6.3 EDIFICIO AD USO UFFICI	48
2.6.4 CAPANNONE INDUSTRIALE DI MEDIE DIMENSIONI	54
2.6.5 SCUOLA MATERNA	60
2.6.6 STRADA URBANA	68
2.7 CONSIDERAZIONI	72
2.8 CASI PRATICI DI APPLICAZIONE DI MODELLI NON LINEARI DA RETE NEURALE	71
2.8.1 STIMA DEL COSTO DELLA RETE FERROVIARIA METROPOLITANA AD ANKARA	71
2.8.2 STIMA DEL COSTO DI PROGETTI DI NUCLEI ABITATIVI COREANI	80
3 METODO E STRUMENTI	89
3.1 METODO	89
3.2 STRUMENTI: LE REGRESSIONI LINEARI	95
3.2.1 INSIEMI DI DATI BIVARIATI	95

# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

3.2.2	VARIANZA E DEVIAZIONE STANDARD CAMPIONARIE	95
3.2.3	COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE CAMPIONARIA	96
3.2.4	SISTEMI DI STIMA E PARAMETRI DI REGRESSIONE	97
3.3	METODO MONTECARLO: CENNI	100
3.3.1	CAMPIONAMENTO DI NUMERI CASUALI DA UNA DISTRIBUZIONE DI PROBABILITÀ NOTA	102
3.3.2	ESEMPI DI METODO DI GENERAZIONE DI NUMERI CASUALI PER IL METODO MONTECARLO	103
4	APPLICAZIONE DEL METODO AL CASO DI STUDIO	107
4.1	PROGETTO VILLE UBOLDO	108
4.2	PROGETTO VILLA DON ORIONE	111
4.3	PROGETTO VALBRONA	114
4.4	PROGETTO SIGMA	117
4.5	PROGETTO LA DUCALE	120
4.6	PROGETTO DELTA	123
4.7	PROGETTO CASALINA	126
4.8	PROGETTO BELVEDERE	129
4.9	PROGETTO BRIVIO	132
4.10	INDIVIDUAZIONE DEI PARAMETRI	137
4.11	SELEZIONE PARAMETRI	142
4.12	STUDIO DEI PROGETTI: REGRESSIONI LINEARI MULTIPLE	158
4.13	STUDIO PROBABILISTICO DEI DATI	170
4.14	SIMULAZIONI MONTECARLO	195
4.15	ESITO E VALUTAZIONI FINALI DEL METODO PROBABILISTICO	219
4.15.1	COSTI E PREZZI	231
4.15.2	FATTORI CORRETTIVI	236
5	CONCLUSIONE	245



## INDICE DELLE FIGURE

### 2 STATO DELL'ARTE

FIGURA 1 PROSPETTO SUD	40
FIGURA 2 SEZIONE VERTICALE	40
FIGURA 3 PIANTA PIANO TERRA	41
FIGURA 4 PIANTA PIANO PRIMO	42
FIGURA 5 PIANTA PIANO SECONDO	42
FIGURA 6 PIANTA PIANO PRIMO	45
FIGURA 7 PIANTA PIANO SECONDO	46
FIGURA 8 PROSPETTO NORD	50
FIGURA 9 PROSPETTO OVEST	50
FIGURA 10 SCHEMA DEI VOLUMI DELL'EDIFICIO IN ESAME	51
FIGURA 11 PIANTA FUORI SCALA	51
FIGURA 12 SEZIONE VERTICALE A-A'	52
FIGURA 13 SEZIONE VERTICALE B-B'	52
FIGURA 14 PROSPETTO PRINCIPALE	56
FIGURA 15 SEZIONE VERTICALE A-A'	56
FIGURA 16 PIANTA	57
FIGURA 17 SEZIONE VERTICALE B-B'	57
FIGURA 18 RAPPRESENTAZIONE SCHEMATIZZATA DEI VOLUMI	58
FIGURA 19 PROSPETTO OVEST	58
FIGURA 20 PROSPETTO EST	58
FIGURA 21 SCHEMA DEI VOLUMI CHE COMPONGONO LA SCUOLA MATERNA	63
FIGURA 22 PROSPETTO NORD	63

# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

FIGURA 23 PROSPETTO EST	63
FIGURA 24 PROSPETTO OVEST	64
FIGURA 25 PIANTA	64
FIGURA 26 SEZIONE VERTICALE A-A'	65
FIGURA 27 SEZIONE VERTICALE B-B'	65
FIGURA 28 SEZIONE VERTICALE C-C'	66
FIGURA 29 SEZIONE VERTICALE DELLA STRATIGRAFIA DELLA SEDE STRADALE PRIMA DELL'INTERVENTO	68
FIGURA 30 SEZIONE VERTICALE DELLA ZONA DELLA SEDE STRADALE OGGETTO DI INTERVENTO	69
FIGURA 31 SCHEMA GRAFICO DI FUNZIONAMENTO DI UNA RETE NEURALE	76
FIGURA 32 SUPERFICIE COSTI/PERCENTUALE DI SEZIONI IN ELEVAZIONE/PERCENTUALE DI SEZIONI DI TUNNEL DEDOTTA DAL MODELLO R5 PARAMETRICO- SUPERFICIE LINEARE	77
FIGURA 33 SUPERFICIE COSTI/PERCENTUALE DI SEZIONI IN ELEVAZIONE/PERCENTUALE DI SEZIONI DI TUNNEL DEDOTTA DAL MODELLO N2 DI RETE NEURALE - SUPERFICIE NON LINEARE	78
FIGURA 34 SCHEMA DI FLUSSO UTILIZZATO PER L'ANALISI DEI COSTI DI PROGETTO DELLA METROPOLITANA TURCA	79
FIGURA 35: DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL PROCESSO DI STIMA USATO IN COREA	81

## 3 METODO E STRUMENTI

FIGURA 36: DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL FUNZIONAMENTO STANDARD DEL METODO	92
FIGURA 37: DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL FUNZIONAMENTO MIGLIORATIVO DEL METODO – AFFINAMENTO DEI PARAMETRI MEDIANTE AUMENTO DEL DATA-SET (METODO A)	93
FIGURA 38: DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL FUNZIONAMENTO MIGLIORATIVO DEL METODO – AUMENTO DEI PARAMETRI MEDIANTE AUMENTO DEL DATA-SET (METODO B)	94

## 4 APPLICAZIONE DEL METODO AL CASO DI STUDIO

FIGURA 39 RENDERIZZAZIONE DEL PRGETTO DELLE VILLE AD UBOLDO	110
FIGURA 40 RENDERIZZAZIONE DEL PROGETTO DELLA VILLA DON ORIONE	113
FIGURA 41 RENDERIZZAZIONE DEL PROGETTO A VALBRONA	116

# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

FIGURA 42 RENDERIZZAZIONE DEL PROGETTO SIGMA	119
FIGURA 43 RENDERIZZAZIONE DEL PROGETTO LA DUCALE	122
FIGURA 44 RENDERIZZAZIONE DEL PROGETTO DELTA	125
FIGURA 45 RENDERIZZAZIONE DEL PROGETTO CASALINA	128
FIGURA 46 RENDERIZZAZIONE DEL PROGETTO BELVEDERE	131
FIGURA 47 RENDERIZZAZIONE DEL PROGETTO BRIVIO	136
FIGURA 48: DISTRIBUTION FITTING (DISTRIBUZIONE LOGISTICA) COEFFICIENTE $m_1$	196
FIGURA 49: DISTRIBUTION FITTING (DISTRIBUZIONE EXTERNAL VALUE) COEFFICIENTE $m_1$	196
FIGURA 50: DISTRIBUZIONE NORMALE COEFFICIENTE $m_1$	197
FIGURA 51: DISTRIBUZIONE TRIANGOLARE COEFFICIENTE $m_1$	197
FIGURA 52: DISTRIBUZIONE PERT COEFFICIENTE $m_1$	198
FIGURA 53: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO PROGETTO DUCALE CESATE (DISTRIBUTION FITTING)	201
FIGURA 54: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO PROGETTO LA DUCALE CESATE (NORMALE)	203
FIGURA 55: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO PROGETTO LA DUCALE CESATE (TRIANGOLARE)	205
FIGURA 56: DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' DI COSTO PROGETTO LA DUCALE CESATE (PERT)	207
FIGURA 57: DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' DI COSTO VILLA DON ORIONE (DISTRIBUTION FITTING)	209
FIGURA 58: DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' DI COSTO VILLA DON ORIONE (NORMALE)	211
FIGURA 59: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO VILLA DON ORIONE (TRIANGOLARE)	213
FIGURA 60: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO VILLA DON ORIONE (PERT)	215
FIGURA 61: DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL LAVORO SVOLTO	218

# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

## INDICE DELLE TABELLE

### 2 STATO DELL'ARTE

TABELLA 1 TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PARAMETRICI E DELLA LORO INCIDENZA SUL COSTO TOTALE	42
TABELLA 2 TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PARAMETRICI	42
TABELLA 3 TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PARAMETRICI E DELLA LORO INCIDENZA SUL COSTO TOTALE	46
TABELLA 4 TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PARAMETRICI	46
TABELLA 5 TABELLA DELLE PERCENTUALE DI COSTO DELLE SINGOLE LAVORAZIONI SUL COSTO TOTALE	52
TABELLA 6 TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PARAMETRICI	52
TABELLA 7 TABELLA DI RIEPILOGO DELL'INCIDENZA DELLE LAVORAZIONI SUL COSTO TOTALE	58
TABELLA 8 TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PARAMETRICI	58
TABELLA 9 INCIDENZA DELLE SINGOLE LAVORAZIONI SUL COSTO	65
TABELLA 10 COSTI PARAMETRICI	65
TABELLA 11 INCIDENZA DELLE LAVORAZIONI SUL COSTO	69
TABELLA 12 COSTI PARAMETRICI DERIVATI DALL'INTERVENTO	69
TABELLA 13 PARAMETRI E COEFFICIENTI P CORRISPONDENTI CON VALORE PIÙ AMPIO PER OGNI MODELLO DI CALCOLO PARAMETRICO	73
TABELLA 14: CONFRONTO MAPE VARI MODELLI	75
TABELLA 15 CONFIGURAZIONE DEI PARAMETRI DI COSTO	81
TABELLA 16 ANALISI DI CORRELAZIONE FRA PARAMETRI (COEFFICIENTI DI CORRELAZIONE DI PEARSON): ABITAZIONE DA 49 m <sup>2</sup>	82
TABELLA 17 ANALISI DI CORRELAZIONE FRA PARAMETRI: ABITAZIONE DA 59 m <sup>2</sup>	83
TABELLA 18 ANALISI DI CORRELAZIONE FRA PARAMETRI: ABITAZIONE DA 84 m <sup>2</sup>	83
TABELLA 19 VALORE DEI COMPONENTI "1" ESTRATTI CON LA FUNZIONE SPSS PER OGNI PARAMETRO	84

### 4 APPLICAZIONE DEL METODO AL CASO DI STUDIO

TABELLA 20: DATI CARATTERISTICI VILLE UBOLDO	106
--	-----

# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

TABELLA 21: DATI CARATTERISTICI VILLA DON ORIONE	109
TABELLA 22: DATI CARATTERISTICI VALBRONA	112
TABELLA 23: DATI CARATTERISTICI SIGMA	115
TABELLA 24: DATI CARRATTERISTICI LA DUCALE	118
TABELLA 25: DATI CARATTERISTICI DELTA	121
TABELLA 26: DATI CARATTERISTICI CASALINA	124
TABELLA 27: DATI CARATTERISTICI BELVEDERE	127
TABELLA 28: DATI CARATTERISTICI BRIVIO	130
TABELLA 29: PARAMETRI - 1° FASE	134
TABELLA 30: PARAMETRI - 2° FASE	141
TABELLA 31: PARAMETRI - 3°FASE	144
TABELLA 32: PARAMETRI - 4°FASE	154
TABELLA 33: CASO DI STUDIO VILLE UBOLDO	157
TABELLA 34: CASO DI STUDIO VILLA DON ORIONE	158
TABELLA 35: CASO DI STUDIO VALBRONA	159
TABELLA 36: CASO DI STUDIO SIGMA	160
TABELLA 37: CASO DI STUDIO DELTA CESATE	161
TABELLA 38: CASO DI STUDIO CASALINA	162
TABELLA 39: CASO DI STUDIO BRIVIO MARIANO COMENSE	163
TABELLA 40: CASO DI STUDIO BELVEDERE MARIANO COMENSE	164
TABELLA 41: CASO DI STUDIO DUCALE CESATE	165
TABELLA 42: RIASSUNTO RISULTATI	167
TABELLA 43: COEFFICIENTI DI REGRESSIONE E VALORE DELL'INTERCETTA	168
TABELLA 44: CARATTERISTICHE $m_1$	172
TABELLA 45: CARATTERISTICHE $m_2$	175
TABELLA 46: CARATTERISTICHE $m_3$	178

# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

TABELLA 47: CARATTERISTICHE $m_4$	181
TABELLA 48: CARATTERISTICHE $m_5$	184
TABELLA 49: CARATTERISTICHE $m_6$	187
TABELLA 50: CARATTERISTICHE $b$	190
TABELLA 51: VALORI COEFFICIENTI DI REGRESSIONE E INTERCETTE	193
TABELLA 52: VALORI MEDI DI M E B	197
TABELLA 53: PARAMETRI DI PROGETTO	197
TABELLA 54: MEDIA DELLA PREDIZIONE DEI COSTI	198
TABELLA 55: PERCENTILI PROGETTO LA DUCALE CESATE	200
TABELLA 56: PERCENTILI PROGETTO LA DUCALE CESATE	202
TABELLA 57: PERCENTILI PROGETTO LA DUCALE CESATE	204
TABELLA 58: PERCENTILI PROGETTO LA DUCALE CESATE	206
TABELLA 59: PERCENTILI VILLA DON ORIONE	208
TABELLA 60: PERCENTILI VILLA DON ORIONE	210
TABELLA 61: PERCENTILI VILLA DON ORIONE	212
TABELLA 62: PERCENTILE VILLA DON ORIONE	214
TABELLA 63: CAPACITA' PREDITTIVA	215
TABELLA 64:PARAMETRI CORRETTIVI FINITURE	236
TABELLA 65: CARATTERISTICHE IMPIANTISTICHE	240

# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---



# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

## INDICE DEI GRAFICI

### 4 APPLICAZIONE DEL METODO AL CASO DI STUDIO

GRAFICI 1-14: GRAFICI PARAMETRI PN	148
GRAFICO 15: ISTOGRAMMA RIASSUNTO RISULTATI	168
GRAFICO 16: ISTOGRAMMA DEI COEFFICIENTI DI REGRESSIONE	171
GRAFICO 17: ISTOGRAMMA DELLE INTERCETTET	172
GRAFICI 18-19: ANDAMENTO $m_1$	175
GRAFICI 20-21: ANDAMENTO $m_2$	178
GRAFICI 22-23: ANDAMENTO $m_3$	181
GRAFICI 24-25: ANDAMENTO $m_4$	184
GRAFICI 26-27: ANDAMENTO $m_5$	187
GRAFICI 28-29: ANDAMENTO $m_6$	190
GRAFICI 30-31: ANDAMENTO b	193
GRAFICO 32 :DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' DEI COSTI DI LA DUCALE CESATE (DISTRIBUTION FITTING))	201
GRAFICO 33: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO DI LA DUCALE CESATE (NORMALE)	203
GRAFICO34: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO LA DUCALE CESATE (TRIANGOLARE)	205
GRAFICO 35: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO PROGETTO LA DUCALE CESATE(PERT)	207
GRAFICO36: DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' DI COSTO VILLA DON ORIONE(DISTRIBUTION FITTING)	209
GRAFICO 37: DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' DI COSTO VILLA DON ORIONE(NORMALE)	211
GRAFICO 38: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO VILLA DON ORIONE (TRIANGOLARE)	213
GRAFICO 39: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO VILLA DON ORIONE(PERT)	215
GRAFICO 40: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO VILLA UBOLDO	220
GRAFICO 41: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO VILLA DON ORIONE	221

# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

GRAFICO 42: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO VALBRONA	222
GRAFICO 43: DISTRIBUZIONI DI PROBAB. CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO SIGMA	223
GRAFICO 44: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO DELTA CESATE	224
GRAFICO 45: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO CASALINA	225
GRAFICO 46: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO BELVEDERE	226
GRAFICO 47: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO BRIVIO	227
GRAFICO 48: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO LA DUCALE	228
GRAFICO 49: DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' DI COSTO DEL PROGETTO BELVEDERERE - DISTRIBUZIONE TRIANGOLARE	232
GRAFICO 50: CONFRONTO PREZZO REALE, MINIMO E MASSIMO PREVISTI	234
GRAFICO 51: DISTRIBUZIONE COSTI FINITURA ALTO LIVELLO	239
GRAFICO 52: DISTRIBUZIONE COSTI FINITURA BASSO LIVELLO	240

## ABSTRACT

In questa tesi il problema della stima dei costi di realizzazione di un progetto edilizio viene trattato partendo dalla descrizione dello stato dell'arte: vengono passati in rassegna i diversi metodi di previsione dei costi sino ad oggi impiegati, da quelli più semplici ed imprecisi, fino ad arrivare alle metodiche più rigorose che prevedono l'impiego delle tecnologie informatiche. Si passa, quindi, alla descrizione di casi di studio già realizzati nei quali vengono illustrate le applicazioni dei metodi precedentemente descritti. Attraverso le situazioni illustrate vengono portate in evidenza le caratteristiche di ogni processo, nel tentativo di mettere in risalto i punti di forza e le debolezze di ognuno di essi.

Successivamente, vengono presentati i casi di studio dei quali si hanno informazioni fisiche, geometriche e impiantistiche di massima, oltre a quelle relative ai costi totali operativi dovuti alla messa in opera. Dei 9 progetti di edilizia residenziale forniti dalla Rigamonti S.p.A., 8 vengono usati come riferimento del metodo di stima sviluppato e l'ultimo viene mantenuto come termine di paragone. Il processo di stima dei costi s'avvia dalla selezione dei parametri di riferimento che andranno a formare il data-set di calcolo: questa fase viene portata avanti per step successivi, fino a che non viene definito un gruppo limitato di parametri che rappresenti le macrocaratteristiche morfologiche degli edifici in esame. In seguito, il metodo viene sviluppato in due passaggi l'uno consecutivo all'altro.

Il primo di essi permette di pervenire alla definizione di un costo deterministico grazie all'applicazione di regressioni multiple lineari. Il secondo, invece, prende avvio dove termina il precedente e, usando tecniche di simulazione (metodo Montecarlo), tratta il costo del progetto come una variabile casuale. Si ottengono curve di distribuzione di probabilità cumulativa che vengono messe a confronto fra loro e raffrontate con i valori deterministici e reali dei progetti in esame. Gli esiti della seconda fase del metodo portano ad una serie di considerazioni e alla scelta della distribuzione che sembra meglio adattarsi al caso in esame.

## **STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE**

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

## ABSTRACT – ENGLISH VERSION

In this graduation thesis the issue of the cost estimation for the execution of a building project is studied moving from the description of the state of the art: the various methods of cost estimation applied until now are reviewed starting from the simplest and least accurate method, up to the strictest criteria that rely on the use of information technology. After that, certain real case studies from the past are described. The application of the methods mentioned before is illustrated. The characteristics of each process are set forth through the situations referred to, with a view to highlight points of strength and weakness of each of them.

Thereafter case studies are presented for which general information about morphological, geometric aspects and plant engineering is available in addition to data about total operating costs of execution. Of the 9 projects of construction of residential buildings supplied by Rigamonti S.p.A., 8 projects are used as reference of the estimation method applied whilst the last project is kept as term of comparison. The process of cost estimation starts from the selection of reference parameters which will form the data-set for calculations: this phase is developed through subsequent steps to define a limited group of parameters through which the morphological macro-characteristics of the buildings considered are defined. Subsequently, the method is developed through two steps in sequence.

The first of such steps enables to reach the definition of a deterministic cost thanks to the application of linear multiple regression. The second step starts where the first one ends and, by means of simulation techniques (Montecarlo method), treats the cost of the project as a random variable. Distribution curves of cumulative probability are obtained, each of the curves is then compared against the others and its statistical accuracy is measured with relation to the deterministic and actual values of the project considered. The results yielded by the second step of the method leads to a series of considerations and to the selection of the distribution that best seems to fit the case studied.

## **STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE**

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

## 1. INTRODUZIONE

L'argomento di questa tesi è l'individuazione di un metodo di stima dei costi di progetti in fase preliminare nel campo dell'edilizia, nonché, una volta individuato un algoritmo di calcolo, la verifica della validità del metodo attraverso il confronto fra il costo previsto e il costo effettivo definito per mezzo di computi metrici degli stessi progetti sviluppati fino alla fase esecutiva.

La necessità di calcolare, seppure in maniera approssimativa, un costo di realizzazione nasce da diversi motivi. Innanzitutto, è evidente che il committente dell'opera sia intenzionato ad avere sin dalle prime fasi di progettazione il controllo degli aspetti finanziari che potranno derivare dalla messa in opera. La stima dei costi, infatti, permette al committente di scegliere già in fase preventiva un progetto invece di un altro, oppure di scartare eventuali scelte progettuali troppo onerose che sarebbero prive di un'adeguata copertura finanziaria. Di conseguenza, avere una procedura di calcolo attendibile, ossia la cui affidabilità predittiva sia di grado soddisfacente, è utile al progettista e poi all'impresa che concretamente si troverà a dover realizzare il progetto. L'impresa può infatti avvalersi di uno strumento di confronto fra i costi da sostenere e quelli previsti dal committente in fase iniziale. La presenza di eventuali discrepanze fra le due stime può essere un importante segnale d'allerta o per l'impresa appaltatrice o per il committente, perché nelle valutazioni di costo potrebbero essere presenti errori significativamente negativi ai fini della realizzazione. La possibilità di sapere da subito quanto possano costare in termini concreti le scelte progettuali che si vogliono realizzare influirà sulla capacità del progetto di rispondere alle esigenze espresse dalla committenza; al contrario, adattare il progetto a varianti in corso d'opera dovute al ricollocamento delle risorse finanziarie - o alla loro carenza - porta probabilmente ad avere edifici meno performanti e meno adatti alle richieste prodotte dalla committenza, spesso anche con maggiori oneri di gestione nel corso della vita utile dell'opera.

Se queste considerazioni valgono nel settore privato dell'edilizia, a maggior ragione sono di rilevanza importante nel settore pubblico. In questo campo il controllo delle spese dovrebbe essere molto rigido e condizionato da vincoli molto rigorosi come è indicato già dal fatto che, ancora prima di sviluppare un progetto a livello preliminare, i parametri finanziari di realizzazione di un'opera sono indicati all'interno del *documento preliminare della progettazione (dpp)*. E', inoltre, previsto che nel progetto preliminare siano contenuti dati di calcolo sommario della spesa che indichino le quantità caratteristiche e i corrispondenti costi standard, i parametri desunti da interventi simili, il computo metrico estimativo di massima e il piano economico finanziario di massima. Le informazioni riguardanti il costo della realizzazione sono, dunque, sufficienti già di per sé a giustificare l'interesse verso l'argomento che viene sviluppato in questa tesi.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

La rilevanza della materia oggetto di questa tesi, è ulteriormente evidenziata dall'obbligo stabilito dalla legge per ogni amministrazione di redigere documenti di programmazione economica richiesti per identificare nelle forme più chiare possibili le necessità della collettività unitamente agli strumenti atti al loro soddisfacimento. Tra questi strumenti i mezzi finanziari hanno ovviamente una posizione preminente. I documenti di programmazione sono essenzialmente due: il *programma triennale delle opere pubbliche*, nel quale l'amministrazione pubblica deve redigere un elenco delle opere di necessaria realizzazione e deve individuare gli strumenti per eseguirle (le opere di maggior interesse sono scelte mediante uno studio di fattibilità). Il secondo strumento di programmazione è l'*elenco annuale*, nel quale ogni amministrazione deve dichiarare quali siano le opere che verranno realizzate entro ciascun anno. E' scontato che questo elenco non possa prescindere dalla disponibilità del budget dei costi necessari per le realizzazioni previste.

L'esigenza di una valutazione preventiva e di un controllo dei fondi di spesa per la realizzazione di opere pubbliche è stato acuito in anni recenti dalla carenza di risorse pubbliche da destinare alla realizzazione di infrastrutture. Questa situazione ha fatto sì che le amministrazioni si siano orientate alla creazione di forme di *partenariato pubblico / privato (Ppp)* che permettono il coinvolgimento di soggetti privati per il finanziamento, la realizzazione e la gestione di nuove opere pubbliche. La cooperazione tra pubblico e privato consente che le rispettive competenze e risorse si integrino per realizzare e gestire opere infrastrutturali, in funzione delle diverse responsabilità ed obiettivi.

Nella maggior parte dei casi l'amministrazione partecipa finanziariamente, attraverso l'erogazione di fondi pubblici, alla realizzazione e alla gestione delle infrastrutture. La misura dell'erogazione deve essere determinata attraverso la stima del livello ottimale dell'erogazione, tale da poter garantire l'equilibrio economico / finanziario degli investimenti. I vincoli di bilancio sempre più stringenti impongono alle amministrazioni un uso efficiente delle risorse finanziarie da destinare alla realizzazione delle infrastrutture pubbliche e obbligano alla ricerca di forme di finanziamento alternative rispetto a quelle tradizionali. Tra le possibili opzioni disponibili, il ricorso a forme di collaborazione pubblico / privato, avvalendosi dello strumento del *project financing*, appare in grado di dar luogo al giusto apporto di risorse pubbliche, garantendo al contempo una gestione orientata all'efficienza per un arco temporale di medio - lungo periodo. L'equilibrio economico / finanziario di un investimento viene garantito anche attraverso l'erogazione di una quota di risorse pubbliche nella forma di contributo. La pubblica amministrazione è, quindi, chiamata a predisporre un complesso di analisi e valutazioni finalizzate a determinare il valore ottimale di questo contributo. Centrale a questo proposito risulta essere la determinazione della congruità del contributo pubblico da erogare. Una riflessione su questo argomento deve basarsi su tecniche di *budgeting* in grado di supportare l'amministrazione pubblica nel processo di stima. E' forse



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

opportuno indicare il preciso significato di alcuni termini usati fin qui, per meglio chiarire alcuni concetti a cui si è fatto cenno. Con il termine “*equilibrio economico – finanziario*” si deve intendere il contemporaneo rispetto delle condizioni di convenienza economica e di sostenibilità finanziaria dell'investimento, cioè: si deve assicurare una *redditività* al progetto, vale a dire la capacità di creare valore nel tempo, nell'arco di vita di una concessione di costruzione e gestione (adeguato anche alle aspettative dell'investitore privato). Si deve garantire la *bancabilità* (sostenibilità finanziaria) per coprire il rimborso dei finanziamenti attivati. Alla luce di quanto detto spetta alle amministrazioni valutare correttamente il livello di contributo pubblico da destinare alla costruzione e alla gestione di infrastrutture da realizzare in *project financing*. Le considerazioni riportate per le pubbliche amministrazioni, sono applicabili anche ai privati che partecipano al partenariato: obiettivi, almeno teorici, di questo processo di partecipazione pubblica e privata diventano, dunque, non solo il superamento di una carenza infrastrutturale o la realizzazione di infrastrutture necessarie a livello locale o nazionale (aspetti che competono innanzitutto alla pubblica amministrazione), ma anche il contenimento dell'investimento e l'ottimizzazione dei costi operativi (intenti di interesse sia per l'investitore privato che per quello pubblico).

La stima dei costi sia nel *project financing*, (data la natura di questo strumento di finanziamento che parte dall'ideazione di un progetto infrastrutturale e arriva fino alla sua gestione) che nell'edilizia privata riveste un ruolo di grande rilevanza per quel che riguarda la manutenzione e un'eventuale rivalutazione del valore dell'opera al termine convenzionale della sua vita utile: conoscere il costo di un'opera sin dalle prime fasi permette una più accurata programmazione dei costi di costruzione, prima, e di manutenzione e gestione, poi.

## **STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE**

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

## 2. STATO DELL'ARTE

### 2.1 LA STIMA DEI COSTI

La stima dei costi viene richiesta nelle fasi iniziali di progettazione prima ancora che si disponga di tutte le informazioni riguardanti un progetto al fine di ottenere importanti elementi di valutazione, necessari in particolare per valutazioni di fattibilità di un'opera e per decisioni di budget.

Solitamente la stima dei costi viene determinata per mezzo di tecniche di modellizzazione durante le fasi preliminari di progetto, quando i costi dettagliati non possono ancora essere forniti. In questi casi si usano riferimenti di progetti analoghi già messi in opera e completati in tempi precedenti, ovviamente all'interno di un lasso di tempo che permetta di rendere le informazioni fruibili e i dati comparabili; tali riferimenti sono i parametri di costo che hanno maggior influenza per il progetto. Questo procedimento è usato comunemente e viene ritenuto valido nonostante nella maggior parte dei casi si disponga di una quantità limitata di dati. Sono molti gli studi nel mondo che usano questa metodologia. Vi sono due approcci compatibili riguardanti la stima dei costi ed un terzo approccio "misto". Il primo approccio è quello che è stato appena descritto, basato sullo studio dei parametri di maggior importanza nel progetto. Il secondo approccio prevede l'impiego di reti neurali. Il maggior vantaggio nell'uso di questa tecnologia consiste nella capacità delle reti di identificare i rapporti tra i parametri ed il costo. Va detto che questo sistema di stima dei costi risulta di scarso valore predittivo quando i dati messi a disposizione sono scarsi o limitati. In queste situazioni si preferisce usare una tecnica coordinata di analisi delle regressioni e di rete neurale con lo scopo di identificare modelli soddisfacenti di predizione dei costi. Poiché da questi tre metodi di predizione (tecnica parametrica, reti neurali e tecnica coordinata di regressioni e rete neurale) scaturiscono differenti modelli è utile, al fine di trovare una maniera il più possibile precisa di stima, mettere sempre a confronto i differenti modelli applicati al medesimo progetto; in tale modo si evidenziano non solo la capacità predittiva, ma anche e soprattutto le carenze di ciascun modello, con gli elementi da correggere, con l'incidenza degli errori ed i loro effetti all'interno dei calcoli veri e propri.

Si deve aggiungere che questo tipo di stime di costo sono per loro stessa natura approssimative, in altre parole non si usano per determinare un costo preciso, ma sono un semplice strumento di budget. E' previsto che il valore individuato in questa fase per la valutazione della fattibilità economica possa fluttuare all'interno di un range più o meno esteso in funzione di quelle che sono le conoscenze specifiche del progetto in esame e dei

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

riferimenti precedentemente accumulati nel corso del tempo. Si vuole con questi sistemi valutare l'ordine di grandezza dei costi da affrontare: non essere in grado di svolgere questa valutazione significa andare incontro a gravi problemi nelle fasi di esecuzione dell'opera, quali la mancanza di fondi nel caso di sottostima, oppure, nel caso opposto, l'immobilizzo di capitali che potrebbero essere utilizzati per altri fini. Inoltre, è evidente che una stima di costo errata non permette di soddisfare le aspettative iniziali di progetto. Pertanto, questi sistemi e i modelli che verranno applicati sono strumenti di estrema utilità per decidere se procedere in una direzione o in una diversa nella produzione di un progetto; o addirittura se sia conveniente realizzare il progetto. Questa premessa fornisce le basi dalle quali partire se si vuole capire perché anche lo studio delle incertezze riveste un ruolo di grande valore. Il livello di incertezza incluso nelle stime si misura con tecniche probabilistiche di stima. Nella stima probabilistica, il costo del progetto è considerato come una variabile casuale e una funzione di distribuzione di probabilità per il costo è generalmente stabilita per mezzo delle tecniche di simulazione. La funzione di distribuzione di probabilità sviluppata può essere usata per predire la probabilità di superamento di bilancio, o per determinare un intervallo di stima per un livello desiderato di certezza. Saper scegliere una funzione di distribuzione di probabilità teorica adeguata per le voci di costo, e l'inclusione delle correlazioni tra le voci di costo sono le sfide principali delle tecniche di simulazione. Le due principali difficoltà nell'inclusione delle correlazioni sono, per prima cosa, la capacità di valutare correttamente i coefficienti di correlazione e secondariamente, la capacità di fornire un approccio teorico accurato di analisi che tenga conto di queste correlazioni. I metodi di analisi forniscono un'alternativa alla simulazione per stimare la variabilità dei costi di progetto.

Di seguito verranno proposti dei casi esemplificativi che permetteranno di introdurre il problema fin qui trattato della stima dei costi e della valutazione dei parametri nei sistemi di modellizzazione lineare e dell'applicazione delle reti neurali nei sistemi non lineari. Prima, però, verrà introdotto il tema del confronto fra i risultati raggiunti con i modelli parametrici tradizionali e quelli forniti dalle reti neurali.

### 2.2 MODELLI PARAMETRICI E RETI NEURALI PER LA STIMA DEI COSTI DI PRODUZIONE: UN'INTRODUZIONE E UN CONFRONTO

Il documento che segue confronta i risultati ottenuti dall'applicazione di due differenti approcci per la stima dei costi unitari nella produzione industriale. Per quanto il campo di applicazioni al quale si fa riferimento nella dissertazione che segue non sia quello al quale questa tesi fa riferimento, è comunque interessante poter partire dai dati del settore industriale che ha visto per primo l'impiego di queste tecniche di valutazione dei costi. In maniera particolare questo capitolo è tratto dall'analisi comparata dei risultati ottenuti con modelli parametrici e modelli creati da reti neurali sviluppati per un'industria specializzata nella realizzazione di freni per impianti di veicoli civili ed industriali. Per rendere il testo non eccessivamente collegato al settore da cui trae origine, i riferimenti all'industria si limitano all'essenziale al fine di rendere il corpo del capitolo adatto anche al settore edilizio.

Innanzitutto, i tre principali approcci per quantificare in maniera approssimativa i costi nelle fasi iniziali di un progetto, sia che esso sia di carattere industriale, o che sia di stampo più artigianale come può essere quello dell'edilizia, sono i seguenti:

#### 1. la tecnica dell'analogia

appartiene alla categoria dei sistemi di stima basata sulla definizione ed analisi dei gradi di somiglianza tra un prodotto nuovo ed uno già realizzato o in fase di produzione avanzata. Esistono molti problemi legati all'applicazione di questo metodo, dovuti soprattutto alla difficoltà operativa di rendere concreto il concetto di "similarità" (come si fa a misurarla in maniera inequivocabile?) e alla possibilità di inserire questo parametro così poco tecnico all'interno di un contesto matematico definito per mezzo di fattori tecnici.

#### 2. modelli parametrici

secondo questa tecnica il costo viene espresso con una funzione analitica proveniente da un set di variabili. Questo consiste solitamente in una serie di dati numerici derivati dalle caratteristiche principali

del prodotto, come per esempio possono essere le prestazioni del prodotto stesso, le proprietà morfologiche o i tipi di materiali impiegati. Ovviamente vengono riportati nel set di dati tutti e solo quei valori che sono ritenuti influenti in maniera certa sul costo finale del prodotto; tutti gli altri valori sono scartati in fase di analisi o a priori. Questi parametri sono definiti con il nome inglese di “*cost drivers*”. Le funzioni analitiche sono definite “Relazioni di stima di costo” (CER – *Cost estimation relationship*) e sono costruite per mezzo di applicazioni di metodologie statistiche. Questa tecnica può essere impiegata nel caso di progetti molto ampi e complicati (tipicamente il campo dell'aeronautica ha visto nascere questo tipo di metodologia) e risulta, però, efficace soprattutto quando la valutazione preliminare ha *cost drivers* facilmente identificabili.

### 3. approccio ingegneristico:

la stima del costo viene fatta in una maniera molto analitica, come la somma di fattori elementari basilari formati dal valore delle risorse usate in ogni fase dei processi produttivi. Per tale motivo questo metodo può essere usato solo quando tutte le caratteristiche del processo produttivo e dell'oggetto da creare sono ben delineate.

Passando in rassegna gli approcci appena descritti si capisce come la precisione e la capacità predittiva aumentino passando dal primo all'ultimo approccio. Infatti, ogni metodo può essere applicato nelle diverse fasi di un progetto: quello meno preciso nelle primissime, gli altri a mano a mano che la progettazione avanza richiedendo maggior accuratezza e un grado di analisi sempre migliore.

Negli ultimi anni è stato sempre più sviluppato ed applicato un nuovo approccio basato sulla teoria definita dall'acronimo ANN (*artificial neural networks*). Esso si ispira alle funzionalità del cervello umano e alla sua struttura, che può essere rappresentata come una rete di elementi altamente interconnessi, i neuroni. Questa trama di neuroni e sinapsi accumula nel tempo le conoscenze in una maniera “distribuita”: l'informazione viene codificata per mezzo

# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

di impulsi elettrici nei neuroni ed è immagazzinata modificando la struttura molecolare e fisica delle connessioni. L'ANN prende a modello questa struttura e la riutilizza all'interno di calcolatori elettronici: vi sono, infatti, informazioni in grande quantità codificate per mezzo di numeri, connesse attraverso delle "sinapsi" o collegamenti "pesati" in funzione della forza che lega le informazioni (se due numeri hanno per loro natura una grande affinità la forza del legame sarà elevata). Il "cervello elettronico" reagisce valutando automaticamente la somma degli impulsi pesati dei neuroni (le informazioni inserite). Da questa sequenza di azioni della rete si ottengono uno o più risultati sotto forma di risposta dalla rete stessa. Un'altra similitudine fra la rete ed il cervello umano è la capacità di apprendere. Un ANN, infatti, per funzionare correttamente ha bisogno di essere allenato, cioè si richiede all'utilizzatore di immagazzinare una sempre maggior quantità di dati dettagliati e di informazioni che possono "allenare" la rete neurale (tali dati sono chiamati "*patterns*"). Tutto ciò rappresenta l'"esperienza" accumulata dal sistema e permette al programmatore del sistema di affinare il sistema dei pesi delle connessioni esistenti. Questa caratteristica permette ai sistemi ANN di sviluppare una speciale abilità nel rispondere a problemi mai affrontati con dati mai visti in precedenza. Riassumendo il metodo neurale rappresenta ad oggi forse il più potente approccio elettronico di computazione parallela non lineare che possa essere usato per sviluppare problemi computazionali complessi in maniera veloce.

Le reti neurali ANN possono essere classificate in funzione del sistema di apprendimento e del metodo organizzativo dei neuroni. Uno dei metodi più utilizzati è quello chiamato "*Multilayer Perceptron*" (MLP), nel quale i neuroni sono organizzati secondo diversi livelli: il primo è quello dell'input (che viene "alimentato" grazie ai pattern di ingresso), mentre l'ultimo livello è quello degli output (che fornisce la risposta ai valori di ingresso). Di mezzo, fra questi due livelli, possono trovarsi uno o più livelli nascosti. Il numero dei livelli è importante e diventa rilevante nella determinazione dei risultati forniti dalla rete neurale e caratterizza la capacità predittiva del sistema. E' importante notare come la forma delle relazioni fra i neuroni non è definita a priori, ma è il risultato dell'"allenamento" alla quale si è sottoposta la rete.

Il problema studiato nel caso in esame prende avvio con lo sviluppo in parallelo di due metodi di stima. Innanzitutto esistono in entrambi i casi dei passaggi obbligatori:

1. Definizione del problema e raccolta dei dati
2. Analisi dei dati e regressione
3. Progettazione del modello parametrico
4. Progettazione e allenamento della rete neurale
5. Paragone dei risultati ottenuti fra i due approcci

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

In primo luogo vanno definiti gli obiettivi di progetto e i vincoli. Essi, con le strategie e le attività da integrare, devono essere accettati e condivisi da tutti i principali attori che partecipano al processo della progettazione. E' poi indispensabile procedere con l'analisi dei dati di prodotto e con l'identificazione delle fonti per le informazioni. Le tipologie principali di dati sono:

- dati tecnologici relativi al processo di produzione
- dati di progetto con riferimento alle caratteristiche morfologiche dell'oggetto
- costi dei materiali e delle lavorazioni

Si passa, dunque, una volta definito lo scopo del progetto, all'individuazione dei *cost drivers* necessari per valutare l'utilità dei dati, in particolare in termini di misurabilità e per valutare la capacità che hanno di relazionarsi l'uno con l'altro e la loro complessità. Se i dati risultano da subito incongruenti con lo scopo prefissato a causa di qualche carenza, allora è probabile che si arrivi allo sviluppo di un modello inefficace. A questo punto, una volta testata la validità dei dati in oggetto, si usano dei modelli statistici e lineari per trovare le relazioni che legano i *cost driver* fra loro e ogni *cost driver* alla variabile dipendente (in questo caso, il costo di realizzazione). Al fine di completare le informazioni fornite dal modello di regressione lineare, viene sviluppata una relazione matematica di stima del costo (CER) nella quale ogni fattore rappresenta un elemento che si riferisce ad un'operazione di realizzazione. La correlazione tra alcune di queste variabili è particolarmente labile, tale per cui le variabili risultano indipendenti tra loro; ad esse viene assegnato un valore maggiore. Altre variabili, invece, sono fortemente influenzate da questi parametri. Solitamente i parametri sono moltiplicati da coefficienti numerici calcolati per ridurre al minimo il valore di errore percentuale (MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(Costi\ reali)_i - (Costi\ predetti)_i|}{Costi\ predetti_i} \cdot 100$$

Per ogni problema, come si è già indicato, possono esistere ed essere applicate più strutture neurali: nel caso in esame si è preferito usare una struttura con due livelli nascosti, poiché i risultati ottenuti mostravano una capacità predittiva superiore unita ad una maggiore rapidità per lo sviluppo dei calcoli.

Il confronto fra gli esiti ottenuti porta a dire che il modello neurale riesce a produrre performance migliori. L'errore massimo del modello parametrico nel caso proposto arriva a toccare quasi il 15%, mentre quello neurale non supera mai la soglia del 10% e solo in sei casi



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

è superiore al 5%. Il punto più rilevante riguarda la logica applicata nei due approcci: mentre il modello parametrico richiede la specificazione di espressioni analitiche che diano conto del legame fra input e output, questo non è richiesto se si utilizza l'ANN. La tecnica neurale permette, dunque, di ottenere in maniera quasi automatizzata la forma più appropriata di relazione fra variabili. In questo aspetto risiede il punto di forza ma anche di debolezza di questo sistema: a priori l'analisi del problema è più semplice e veloce e, nel caso di situazioni particolarmente complesse (come l'uso di tecniche produttive innovative e ancora poco diffuse) il raggiungimento di un traguardo non dipende dall'abilità di chi conduce l'analisi dei dati o di colui che deve definire quali sono gli elementi chiave per arrivare ad una funzione analitica. Al contempo, l'impossibilità di conoscere pienamente il tipo di relazione può risultare in un limite. In altri termini, le reti neurali si applicano ad ogni problema che viene loro posto come se fosse una "scatola nera". Risulta quindi impossibile dare anche un'interpretazione teorica della soluzione ottenuta, specialmente quando questa non sia prevedibile in maniera intuitiva. In tali situazioni vince ovviamente lo scetticismo poiché appare davvero complicato fare la controprova sull'attendibilità della risposta ottenuta.

In ogni caso, la maggior robustezza del metodo neurale e la conseguente maggior propensione ad affrontare e correggere informazioni di ingresso errate permette l'eliminazione o la consistente diminuzione delle attività di analisi dati, che generalmente nelle fasi preliminari di un progetto rappresentano una voce di costo rilevante. Un altro punto di forza di questo sistema è la flessibilità nel saper cambiare la struttura interna di analisi una volta che il modello è realizzato e funzionante. Nel caso di cambiamenti nei metodi di realizzazione di un prodotto, un modello parametrico andrebbe studiato nuovamente dall'inizio alla fine, mentre con una rete neurale sarà semplicemente necessario condurre una nuova fase di "allenamento" con un set di dati aggiornato (e la struttura della rete potrebbe addirittura non cambiare affatto rispetto a quella precedente). D'altro canto, l'ANN fa totalmente affidamento sui dati che vengono inseriti. Serve sempre un set di dati completo; al contrario i parametri per una relazione matematica di stima di costo possono prevedere l'impiego di fattori dedotti da considerazioni tecniche o produttive convalidate a loro volta con la pratica.

### 2.3 STATO DI FATTO DEI MODELLI DI COSTO PARAMETRICI

La necessità di avere riferimenti utili per la progettazione economica di un intervento in fase preliminare nasce dall'esigenza di individuare dei parametri o degli indici oggettivi che servono ad identificare nella maniera più precisa possibile il valore in termini di costo dell'oggetto da realizzare

Questa esigenza è sentita sin dalle prime fasi della progettazione e si rivolge a tutte le figure che prendono parte al processo edilizio, dai committenti, ai progettisti, passando per le imprese, includendo i tecnici dell'estimo e le figure professionali competenti nel campo dei preventivi.

Va detto che la necessità di effettuare valutazioni economiche di un oggetto "futuro", mediante le conoscenze tecniche ed economiche disponibili in fase preliminare è un bisogno crescente nel settore delle costruzioni, sia per quel che riguarda l'edilizia a livello locale, che per i grandi progetti, di respiro internazionale. È evidente che questo tipo di analisi permette sin da subito una stima di costo e individua il rapporto costi benefici diventando uno strumento affidabile nei processi decisionali e di spesa. È bene ricordare inoltre che la progettazione economica è una componente di progetto integrato che deve necessariamente essere coerente alle fasi di progettazione. Pertanto in fase preliminare non è possibile individuare una voce di costo definitiva per l'intero progetto ma semplicemente una stima dello stesso, in quanto, durante questa fase di progettazione, le caratteristiche individuate con certezza sono quelle funzionali dell'intervento coerentemente ai bisogni espressi e al quadro dei vincoli individuato. In altri termini non è possibile individuare in maniera puntuale e precisa la spesa per la committenza in quanto mancano ancora alcuni dettagli, come gli elementi tecnici, gli impianti, le finiture, che rappresentano costi certi. Il preventivo sommario considera un unico elemento tecnico di costo, detto "voce", che sia descrittivo e possa essere assunto come elemento parametrico scelto per individuare la consistenza dell'opera.

Comunemente i parametri più utilizzati per determinare i valori di costo parametrico sono i seguenti:

Il volume, generalmente si considera quello fuori terra valutato "vuoto per pieno", con misure a filo esterno delle murature escludendo i piani interrati non abitabili.

- La superficie lorda di piano, ovvero la superficie lorda misurata ai fili esterni delle murature perimetrali di tutti i piani abitabili; eventuali piani interrati di servizio possono essere computati con opportuni coefficienti di ragguaglio.
- La superficie utile, ossia la somma delle superfici utili dei singoli piani (superficie utile dei pavimenti).

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

- Il numero dei locali è un parametro meno usato perché non è facile definire che cosa si intenda per locale( vano abitabile, vani accessori)

Inquadrato quindi il problema dei costi parametrici, è bene mettere in risalto un ulteriore criterio per l'individuazione del valore di costo: la procedura di stima di costo parametrico e, dunque, l'individuazione del parametro attraverso il quale misurare la consistenza dell'opera non può certo essere considerato indipendente dalla destinazione d'uso dell'edificio. La tipologia edilizia risulta, di conseguenza, il primo punto da considerare nell'analisi dei costi preventivi. Se sin qui si sono riportati veloci esempi di parametri utilizzabili in maniera generica per l'edilizia residenziale, per quanto appena scritto è evidente che tali parametri risultano incoerenti per edifici commerciali o ad uso industriale. Per questi ultimi si è soliti prendere come parametro la superficie coperta lorda di piano precisando l'altezza utile degli ambienti.

Esistono poi particolari tipologie di opere, tipicamente strutture pubbliche o infrastrutture, la cui particolare destinazione d'uso fa che ci si riferisca ad elementi di dimensionamento tipici. Ad esempio :

- Per le scuole il numero di allievi o le aule;
- Per gli ospedali i posti letto;
- Per le strade lo sviluppo o la superficie;
- Per reti fognarie lo sviluppo;
- Per impianti di illuminazione i punti luce;

l'importo totale di costruzione dell'opera viene stimato nel caso di preventivo sommario, individuando il prezzo unitario di costruzione. Esso si riferisce al parametro prescelto e viene moltiplicato per la consistenza dell'opera in progetto espressa nell'unità di misura relativa del parametro considerato.

Il prezzo unitario è stimato in base ai dati statistici ricavati da costi di realizzazione di opere simili sempre tenendo conto che tali rilevamenti sono caratteristici della località alla quale si riferiscono i dati noti, dell'epoca di realizzazione e delle condizioni oggettive nelle quali si ipotizza di realizzare l'opera oggetto della valutazione.

È intuibile che tanto più le condizioni di realizzazione e le caratteristiche progettuali e locali sono simili tanto maggiore tra le opere già realizzate e quella oggetto di valutazione, tanto maggiore sarà l'attendibilità del preventivo sommario effettuato.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

La valutazione economica in questa fase di progetto costituisce in ambito pubblico lo studio di fattibilità economica, preventivo sommario di previsione di spesa, stima dell'impegno economico coerente di un piano programmatico. In ambito privato invece questo tipo di valutazione ha un valore prevalentemente di carattere strategico, studi di fattibilità utile ad individuare e valutare i possibili diversi scenari di investimento sulla base di differenti ipotesi di progetto.

Per quel che riguarda i lavori pubblici è prevista per legge la valutazione dei costi in fase preliminare (Art. 6 D.Lgs. 163/2006) che "Vigila affinché sia assicurata l'economicità di esecuzione dei lavori pubblici..".

Per la determinazione dei costi standardizzati l'Osservatorio dei Contratti Pubblici, che è alle dipendenze dell'Autorità per la vigilanza sui contratti pubblici di lavori, servizi e forniture (istituita dall'Art. 4 della Legge 109/94 recepito dal D.Lgs 163/2006) dispone dei dati riguardanti gli interventi realizzati, obbligatoriamente trasmessi dalle stazioni appaltanti.

I dati, rilevati dalle sezioni regionali e trasmessi alla sezione centrale, vengono da questa elaborati per la determinazione dei parametri di costo, univoci e standardizzati.

È interessante porre per un momento l'attenzione sulla metodologia utilizzata per la determinazione dei parametri standard; allo scopo di determinarli, l'analisi di ogni tipologia edilizia, viene affrontata scorpendo l'opera in settori, in aree funzionali omogenee e unità spaziali, secondo una logica di tipo funzionale e coerente con gli obiettivi della fase della progettazione preliminare e della preventivazione di spesa.

Come già scritto in precedenza infatti, si è costretti a ricorrere all'uso di prezzi standard la cui precisione diventa tanto più importante se si pensa che il preventivo di spesa viene calcolato in assenza di un progetto definitivo e sulla base di sole caratteristiche dimensionali e di fruizione note a priori dalla stazione appaltante e determinate da un'analisi dei fabbisogni della collettività.

Ogni unità funzionale viene caratterizzata tramite entità caratteristiche di fruizione (abitanti, degenti, studenti, transiti) , entità fisiche o dimensionali ( volumi, superfici, lunghezze) e i relativi costi unitari, sulla base dei quali deve essere possibile la definizione del costo standard dell'opera.

Il costo unitario relativo ad ogni unità funzionale non può essere univocamente determinato ma è soggetto a una fluttuazione all'interno di un intervallo attorno al dato medio nazionale che è pari al costo dell'opera standard.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Pertanto se si utilizza questo approccio è doveroso considerare le peculiarità di ogni opera attraverso l'applicazione di fattori e coefficienti correttivi endogeni ed esogeni; questi devono essere elaborati a partire dalle rilevazioni effettuate sul territorio. I fattori correttivi endogeni tengono conto delle variabili costruttive determinate dalle scelte dal progettista; considerano la tipologia edilizia e la tecnologia costruttiva. I fattori esogeni fanno invece riferimento ai dati ambientali che non sono determinati da scelte del progettista, ma imposti dal contesto territoriale: localizzazione geografica, localizzazione amministrativa, differenziazione dei costi, accessibilità del sito, sismicità, geologia e morfologia. Viene tuttavia rilevato che i costi standardizzati indicati dall'Osservatorio, non sono ancora completi e dopo oltre dieci anni dalla sua istituzione risultano scarsi ed ancora oggi poco adatti alle necessità espresse dal settore; a ciò si aggiunga che paiono incompleti e non sono sempre disponibili (Andrea Bassi)

Rispetto all'argomento trattato questa situazione in Italia rappresenta un problema, in quanto l'Osservatorio possiede una posizione di privilegio per quanto riguarda la disponibilità dei dati di base che in definitiva lo rende l'attore unico per la definizione dei costi standardizzati, elemento economico di riferimento verso la normalizzazione dei processi di appalto. In mancanza di riferimenti dell'Osservatorio il calcolo sommario della spesa in fase di progetto preliminare viene effettuato secondo le indicazioni del regolamento di cui al DPR 554/99, applicando alle quantità caratteristiche dei lavori un costo parametrico. Individuato un parametro significativo di tipo "estensivo", attraverso il quale definire la cifra tecnica dell'intervento, viene attribuito un valore economico ricavato dal costo di costruzione totale di interventi simili già realizzati in rapporto a detto parametro. È compito del progettista economico individuare i criteri di stima sulla base delle caratteristiche proprie dell'opera oggetto di valutazione, elementi per la contestualizzazione del dato economico di riferimento. In tal senso è importante che ciascun intervento assunto per la determinazione del costo standardizzato sia fortemente caratterizzato e descritto nelle sue componenti tipologiche e tecnologiche principali, al fine di potere individuare con facilità le eventuali differenziazioni tra il modello standard e l'intervento oggetto di analisi.

Il costo parametrico indice risulta dunque essere per il progettista economico la proposta operativa e il dato economico di riferimento, desunto da informazioni tecnico-economiche di base che si riferiscono ad interventi pregressi individuati secondo i seguenti criteri:

- riconoscibilità e rintracciabilità dei costi di costruzione, indicando il contesto temporale geografico e tecnico di riferimento
- rappresentatività del campione sulla base della funzione tipologica e delle caratteristiche tecnico costruttive basilari

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

- descrittività del parametro relativamente alle caratteristiche intrinseche dell'intervento

### 2.4 CRITERI ED ELABORAZIONE DEI COSTI NEI MODELLI PARAMETRICI

L'elaborazione dei costi parametrici indice, come precedentemente accennato, viene fatta con dati storici, cioè in relazione ad interventi realizzati; non tutti gli interventi però, sono inclusi nella banca dati storica, ma solo quelle particolari costruzioni i cui documenti di progetto esecutivo sono posti a base di gara. Gli interventi inseriti in banca dati, sono tutti lavori selezionati sulla base di caratteristiche di forte tipicità, quali:

- minimo scostamento degli importi: più opere della stessa tipologia devono, per essere inserite come paradigma nella banca dati, avere tutte all'incirca lo stesso importo al finito
- minimo scostamento delle incidenze delle opere rispetto ai costi standard di mercato
- riconoscibilità

Per ciascun intervento vengono riportati gli importi e le incidenze relative alle voci di costo significative che concorrono alla determinazione dell'importo a base di gara, dedotti da un computo metrico estimativo all'esecutivo. Il computo metrico all'esecutivo è un computo metrico che entra già molto in dettaglio per quel che riguarda i livelli della costruzione; all'esecutivo infatti il computo metrico che va presentato nella documentazione per partecipare ad una gara d'appalto è il computo metrico estimativo per risorse. A tale importo è stato successivamente applicato lo sconto offerto dall'impresa esecutrice per la sola componente soggetta a ribasso. Il costo parametrico indice relativo agli oneri per la sicurezza viene calcolato suddividendo l'importo degli oneri per la sicurezza rispetto al parametro descrittore più significativo, che normalmente risulta essere, nella maggior parte dei casi, la superficie dell'opera. Questa metodologia di approccio intende offrire al progettista economico la massima visibilità sui dati di base utilizzati per l'elaborazione dei costi parametrici indice e la possibilità di applicare un differente sconto all'importo a base di gara o di variare le incidenze degli importi per categoria di opere al fine di adattare la valutazione alla realtà del contesto economico di riferimento per l'intervento oggetto di stima. La determinazione dei costi parametrici indice è stata condotta rispetto a parametri descrittivi significativi, (tipicamente superficie, volume e altri parametri identificativi della consistenza delle opere quali numero di posti auto per autorimesse, numero di studenti per edifici scolastici...) suddividendo l'importo appaltato per le consistenze dell'intervento rilevate dai documenti di progetto esecutivo. Ove non sia possibile reperire i dati relativi agli importi a base di gara e agli importi appaltati, i costi parametrici indice vengono solitamente valutati sui dati economici disponibili, di volta in volta indicandone il tipo. Al fine di aumentare sempre di più l'attendibilità dei costi parametrici indice, in un processo virtuoso che porti ad una

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

maggior consapevolezza dell'utilità e dell'importanza strategica di una corretta valutazione dei costi di intervento in fase preliminare, le banche dati storiche vengono ogni anno ripetutamente aggiornate e ampliate con nuovi dati e informazioni.



### 2.5 NOTA METODOLOGICA

I costi parametrici indice riportati per ciascun settore e tipologia di intervento si riferiscono a opere in genere già realizzate ovvero in corso di realizzazione e, pur se gli interventi sono scelti in base alla rappresentatività per il settore e la tipologia considerati, i dati economici sono tutti comunque influenzati dalla specificità del contesto. È chiaro che l'applicazione del costo parametrico indice calcolato per la stima preliminare di un costo di costruzione deve essere ricondotta nell'ambito della valutazione di fattibilità degli interventi, per loro stessa natura caratterizzata da elementi di variabilità. È importante specificare come l'uso dei costi parametrici indice debba essere sempre ricondotto entro gli ambiti di validità degli stessi, senza prescindere dagli aspetti applicativi oggettivi e soggettivi, legati alla specificità dell'intervento assunto come "indice" degli ambiti di stima del costo di costruzione in fase preliminare. In tal senso la caratterizzazione e la contestualizzazione del costo parametrico riportato può consentire al progettista economico di adeguare il costo alle specificità del proprio contesto di riferimento. I dati tecnici ed economici si riferiscono ai soli costi di costruzione corrisposti all'impresa esecutrice, ad esclusione di spese tecniche, tasse e contributi, oneri, indennizzi, costo di acquisto del terreno e degli edifici. Tutti i costi parametrici, per quello fin qui detto, vengono rielaborati tenendo conto di:

- Situazione climatica e meteorologica nei livelli medi stagionali per la provincia indicata.
- Condizioni di cantierizzazione come accessi, viabilità, localizzazione in media o bassa difficoltà
- Assenza di sottoservizi o strutture significative e falda acquifera inferiore al piano di scavo.
- Rispondenza dell'opera alle norme vigenti; tutte le norme che riguardino disperdimenti energetici, abbattimento delle barriere architettoniche, costruzioni in zona sismica e le norme di conformità ai regolamenti edilizi e di igiene vigenti sul territorio.
- Assenza di infortuni sul lavoro comportanti una sospensione delle attività di durata superiore ai 3 giorni.
- Assenza di provvedimenti di sospensione o proroga dei lavori per eventi eccezionali.
- Realizzazione dell'opera conformemente a quanto indicato negli elaborati progettuali.
- Assenza di varianti significative in corso d'opera

### 2.6 CASI PRATICI

Introdotta in dettaglio la funzionalità e le peculiarità cardine dei costi parametrici, nelle pagine successive si riportano alcuni esempi come chiarimento di quanto è stato fin qui detto. Le esemplificazioni sotto riportate intendono riferirsi a tipologie differenti di edifici, da quelli residenziali a quelli terziari, e vogliono mostrare i parametri utilizzati e il costo abbinato ad ogni parametro. Ovviamente la scelta dei parametri dovrà essere fatta secondo una logica di universalità interpretativa; tutte le opere cioè, quale che sia la loro tipologia, dovranno potere essere accomunate sotto un unico parametro. Questo, come si vedrà, è molto difficile perché per molte opere, come quelle terziarie, alcuni parametri non rispecchiano appieno le caratteristiche delle opere stesse.

#### 2.6.1 VILLA SINGOLA DI PREGIO

Il primo caso pratico riguarda la più classica delle opere edili, e cioè la costruzione di una villa singola, nel caso specifico, con finiture di pregio, costruita in zona collinare nei dintorni di Milano. L'edificio è costituito da un corpo di fabbrica autonomo su due piani con superficie coperta di 243 metri quadri.

Il fabbricato ha le seguenti dimensioni:

- Piano terra = 243 m<sup>2</sup> abitabili.
- Piano primo = 160 m<sup>2</sup> abitabili insieme a 70 m<sup>2</sup> come locali sottotetto.
- Piano interrato = 350 m<sup>2</sup> con caratteristiche di locali accessori e box
- Area scoperta = 1290 m<sup>2</sup>

La zona giorno, al piano terra, è composta da ingresso, soggiorno, salotto, pranzo, cucina oltre ai servizi, ripostigli e guardaroba. Un ampio porticato completa la zona a giorno. La zona notte è disposta in parte al piano terra con la camera padronale, bagno e zona guardaroba in soppalco. Il resto della zona notte è sistemata al primo piano dove sono localizzate due camere singole con bagni indipendenti e uno studio. Due locali non abitabili completano la superficie coperta al primo piano. A sud un ampio terrazzo di circa 65 m<sup>2</sup> si affaccia sul giardino mentre a nord il terrazzo di 14 m<sup>2</sup> circa è sistemato sopra il portico colonnato d'ingresso. Al piano interrato trovano posto tre ampi locali pluriuso, deposito attrezzi, centrale termica, cantina fredda, servizi igienici ed un box per quattro autovetture. Qui di seguito vengono presentate le caratteristiche edili della villa descritta:

- **FONDAMENTA:** sono di tipo continuo sotto i muri perimetrali e a plinti isolati posti ai piedi dei pilastri.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

- **STRUTTURA DI ELEVAZIONE:** la struttura in elevazione è costituita da muri portanti interrati in c.a. controterra, pilastri e scale gettati in opera.
- **STRUTTURE ORIZZONTALI:** le strutture orizzontali sono realizzate in laterocemento con travetti prefabbricati, pignatte in laterizio e getto integrativo in opera di calcestruzzo, ad eccezione della parte a copertura del box dove sono state usate lastre prefabbricate tipo “predalles”, con alleggerimento in polistirolo. Il pavimento del piano interrato poggia su un vespaio areato costituito da tavelloni da 100 cm poggianti su muretti da una testa di mattoni pieni per una altezza di 60 cm e fondazioni in calcestruzzo. Il solaio di copertura inclinato è anch'esso realizzato con struttura in laterocemento con travetti prefabbricati.
- **COPERTURA:** il manto di copertura in falda è formato da lastre di ardesia posate su assisto in abete con interposto strato isolante per la formazione di tetto ventilato; la lattoneria è in lamiera di rame.
- **TAMPONAMENTO ESTERNO:** il tamponamento esterno è stato eseguito mediante tavolato in mattoni pieni di spessore 12 cm intonacati con intonaco rustico sul paramento esterno ed interno, interposizione di isolante termoacustico in pannelli rigidi in poliuretano e barriera al vapore. Il paramento interno è in forati di spessore 8 cm. I tavolati interni sono in laterizio forato 8×12×24 cm per i divisori dei locali mentre le pareti attrezzate sono di spessore 12 cm.
- **PAVIMENTI:** i pavimenti sono del tipo ceramico e parquet al piano seminterrato. Al piano terra sono di granito in cucina e nel vano scala-atrio, in parquet a disegno nel resto dei locali. Al primo piano tutti i pavimenti sono in parquet anche nei locali sottotetto. I bagni sono in ceramica ad esclusione di quello principale che è in marmo.
- **SERRAMENTI:** i serramenti esterni sono in rovere da 85 mm con inferriata di protezione in ferro. Le porte interne sono in rovere lavorate e maniglie in ottone.
- **IMPIANTI:** gli impianti sono autonomi e hanno i contatori posti in prossimità della recinzione con apposito manufatto in cemento tinteggiato. Il riscaldamento è a metano con caldaia autonoma da 52 Kw con bollitore separato da 300 l pure a gas. Gli elementi radianti per i locali di servizio sono del tipo misto a radiatori e ventilconvettori. La distribuzione è in rame a pavimento. L'impianto idrico per la parte interna è costituito da tubazioni zincate mentre per la parte esterna i tubi sono in polipropilene. La rete fognante è in termosaldato mentre la parte esterna al fabbricato è in pvc serie pesante. L'impianto elettrico è incassato per la parte dei locali al piano terra e al primo piano mentre è esterno per tutto il piano interrato. La potenza totale installata è di 6 Kw.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Si riportano qui di seguito alcuni disegni per una migliore descrizione dell'opera qui presentata.

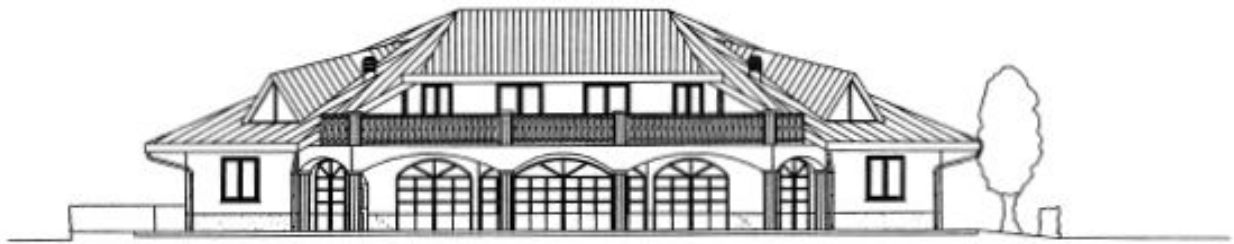


FIGURA 1 PROSPETTO SUD



FIGURA 2 SEZIONE VERTICALE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

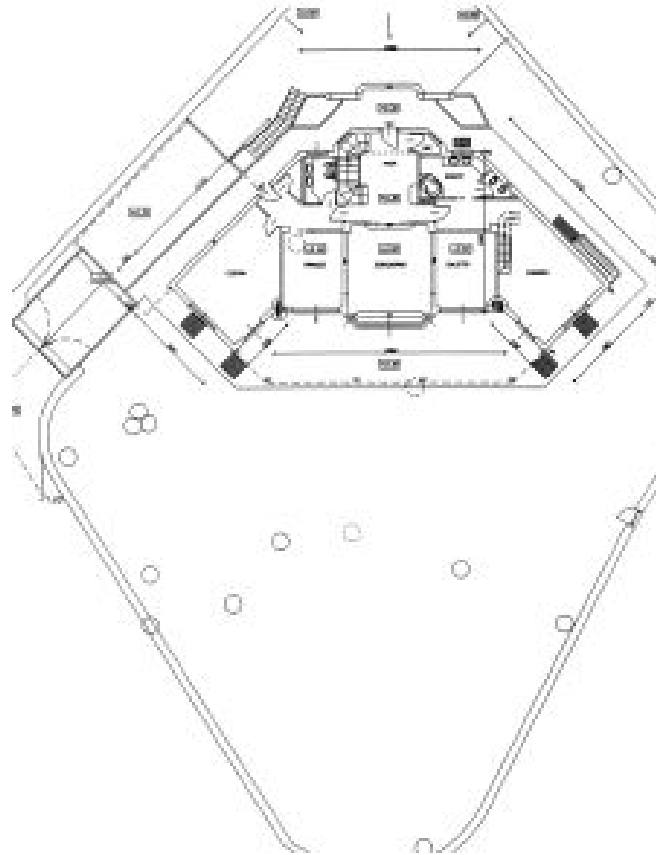


FIGURA 3 PIANTA PIANO TERRA

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

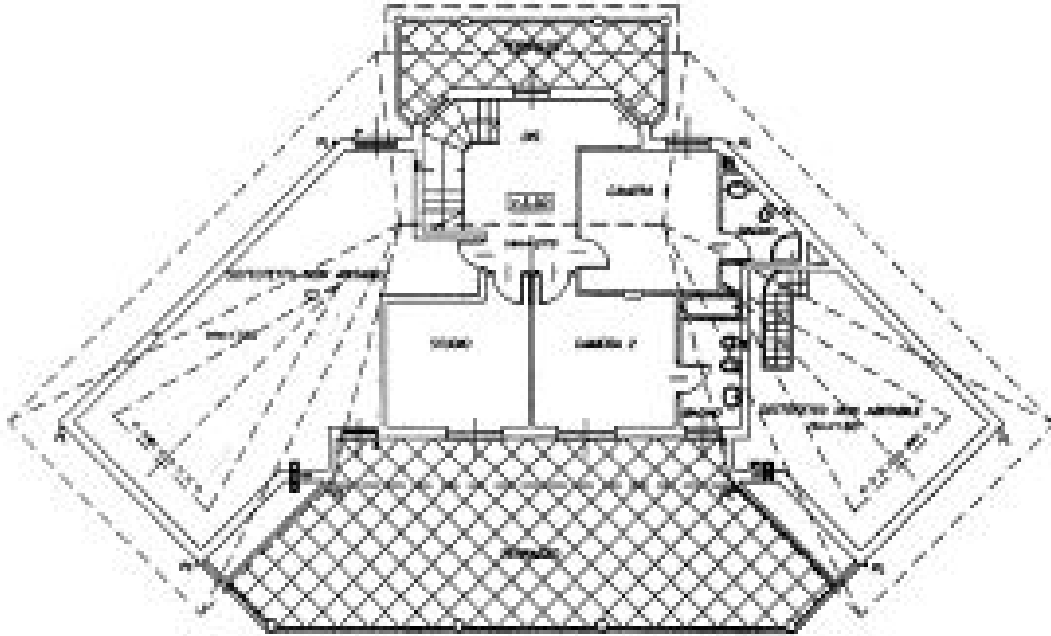


FIGURA 4 PIANTA PIANO PRIMO



FIGURA 5 PIANTA PIANO SECONDO

La tabella sotto proposta vuole dare un resoconto delle opere e dei costi affrontati per la realizzazione dell'edificio; i costi di ogni singola voce di opera rapportati al costo totale della villa danno un valore di incidenza percentuale degli stessi sul costo totale. Questa percentuale

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

mostra quanto un'opera pesi rispetto a un'altra nell'esecuzione totale dell'edificio. Si vuole di seguito mostrare in la tabella con il resoconto delle opere di cui prima detto e con il resoconto dei costi.

TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PERCENTUALI D'INCIDENZA			
COD	OPERA	PREZZI IN €	%
1	Impianto di cantiere e scavi	16912	1,63
2	Struttura in c.a.	205499	19,79
3	Opere da lattoniere	24282	2,34
4	Vespai e massetti	48707	4,69
5	Murature e tavolati	71568	6,89
6	Impermeabilizzazione e isolamenti	18038	1,74
7	Copertura	29212	2,81
8	Intonaci interni ed esterni	55054	5,30
9	Serramenti	76991	7,42
10	Impianto idro-termo-sanitario	95342	9,18
11	Impianto elettrico	24523	2,36
12	Pavimenti e rivestimenti	118371	11,40
13	Assistenze	125450	12,08
14	Opere in marmo	53046	5,11
15	Opere in ferro	24492	2,36
16	Tinteggiature	26882	2,59
17	Opere da giardiniere	23895	2,30
TOTALE		1038264	100

TABELLA 1 TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PARAMETRICI E DELLA LORO INCIDENZA SUL COSTO TOTALE

Conosciuti in dettaglio il capitolato tecnico descrittivo ed i costi suddivisi per singole lavorazioni, si sono scelti i parametri; per un'opera del genere è sembrato opportuno rapportare il costo totale al volume o eventualmente alla superficie lorda di pavimento; entrambi i parametri sono attendibili per la parametrizzazione dei costi grazie alla loro immediata misurabilità e semplicità.

TABELLA DEI COSTI PARAMETRICI				
S.L.P. (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )	TEMPI (mesi)	COSTO AL m <sup>2</sup>	COSTO AL m <sup>3</sup>
823	2716	25,0	1262	382

TABELLA 2 TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PARAMETRICI

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

### 2.6.2 EDIFICIO RESIDENZIALE PLURIPLANO

Il secondo caso pratico riguarda la costruzione di un edificio residenziale pluripiano, anch'esso situato nei pressi di Milano. L'intervento presentato riguarda più in dettaglio la costruzione di un edificio costituito da due corpi di fabbrica per un totale di 7 vani scala, 54 appartamenti e 80 box. L'altezza degli edifici varia da 2 a 4 piani con tetti variamente sfalsati che contengono ampi terrazzi agli ultimi piani.

Le dimensioni del fabbricato sono:

Superficie residenziale: 5.566 m<sup>2</sup>

- Superfici accessorie: 5.390 m<sup>2</sup>
- Volume: 16.698 m<sup>3</sup>

Qui di seguito viene illustrato il capitolato tecnico descrittivo dell'edificio costruito.

- **FONDAZIONI:** Fondazioni (carico sul terreno 0,6 kg/cm<sup>2</sup>), muri perimetrali, muri dei box, vani scala, pilastri sono realizzati con cemento armato con calcestruzzi confezionati in cantiere mediante centraline automatiche.
- **TETTI:** tetti in cotto con tegola portoghese e canali in rame.
- **TAMPONAMENTI :** tamponamenti in doppio tavolato con interposto isolamento termico posato con particolare cura per evitare i ponti termici (i pilastri sono stati rivestiti con eraclit sulla facciata esterna). Vani scala e parapetti balconi rivestiti mediante mattone paramano del tipo "fatto a mano" spesso 12 o 6 cm. Inserimento di fioriere in cemento bianco nei parapetti dei balconi.
- **VANI SCALA** ed atri in granito rosa sardo, ascensori di tipo oleodinamico con porte automatiche al piano.
- **SERRAMENTI:** serramenti esterni in Hemlock con zanzariera incorporata e persiana esterna colore naturale impregnato.
- **GENERALI:** Pavimenti interni in ceramica 30 × 30 nelle zone a giorno e parquet a listelli nelle zone notte. Due locali comuni (uno per ogni edificio) per riunioni e gioco bimbi al coperto. Impianto d'antenna centralizzato con parabola.
- Strutture d'ingresso sulla strada coperte con videocitofoni e con caselle lettere.
- **SPAZI:** giardini condominiali attrezzati con percorsi delimitati da muretti e copertine in cotto seminati e piantumati con alberi d'alto fusto, cespugli, siepi, etc.



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

- IMPIANTO D'IRRIGAZIONE automatico con tutti i giardini condominiali.
- CANCELLI CARRAI con apertura automatica e recinzione verso la strada in acciaio inox.
- GIARDINI PRIVATI con accesso indipendente, percorsi lastricati con zona pranzo all'aperto, parte verde privata con prato e sie

Si riportano di seguito alcuni disegni a complemento della descrizione dell'opera qui presentata

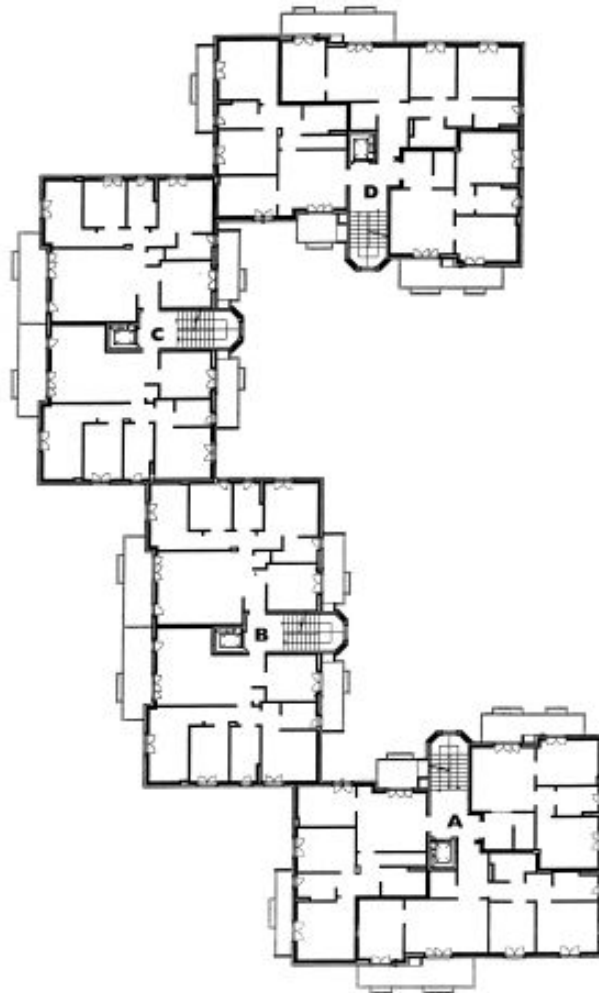


FIGURA 6 PIANTA PIANO PRIMO

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

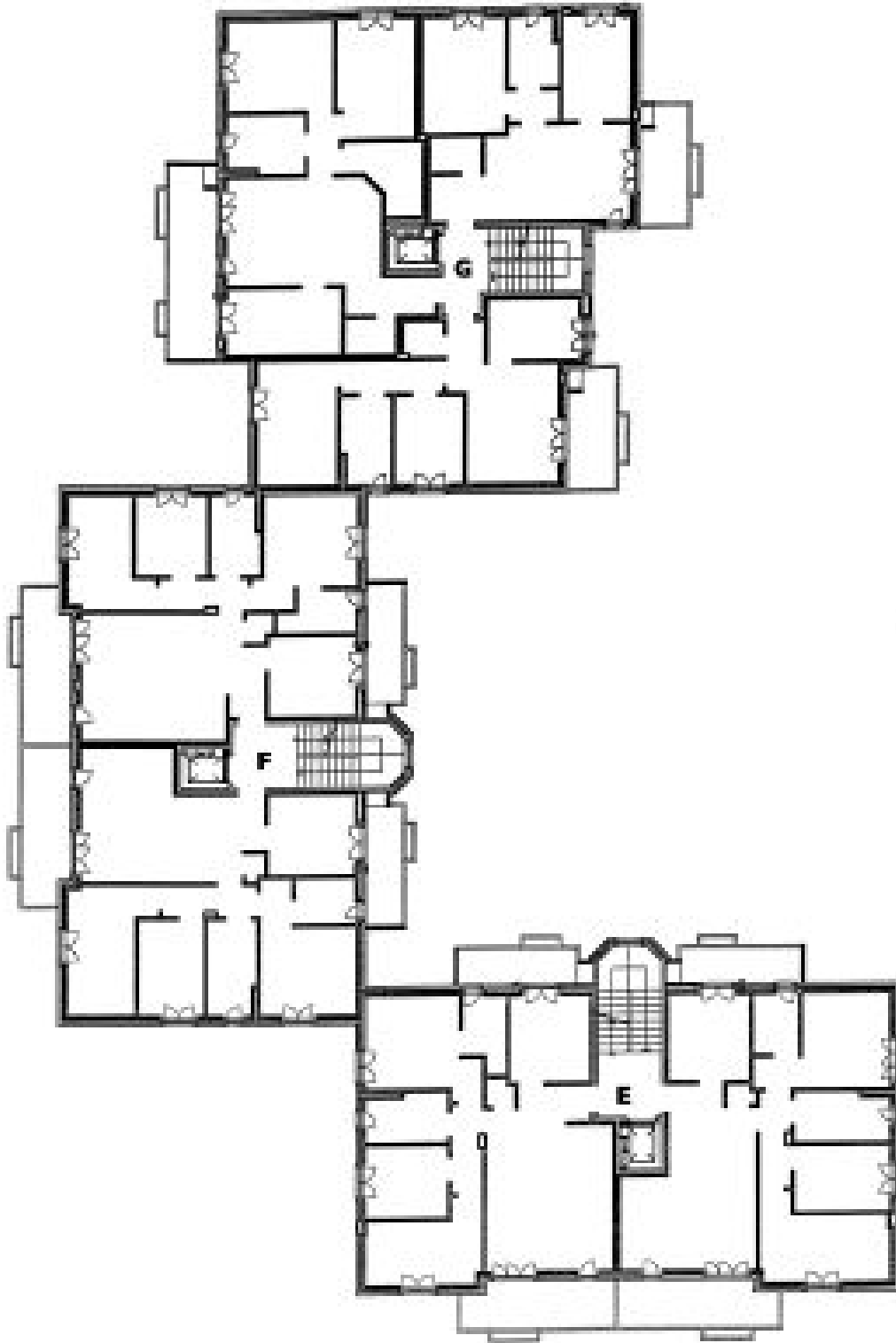


FIGURA 7 PIANTA PIANO SECONDO

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

La tabella seguente mostra il resoconto delle opere e dei costi; i costi trovati per ogni opera compiuta, rapportati al costo totale del fabbricato, danno una percentuale di incidenza all'interno dei lavori; ogni opera pesa più o meno di un'altra nella redazione totale dei costi. Conosciuti volume e superficie lorda di pavimento è possibile parametrizzare il tutto in funzione di questi due elementi.

TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PERCENTUALI D'INCIDENZA			
COD	OPERA	PREZZI IN €	%
1	Piazzamento cantiere, ponteggi, scavi	56087	1,00
2	Opere in c.a.	1458253	26,00
3	Copertura, scossaline	336519	6,00
4	Tamponamento esterno	336519	6,00
5	Divisori interni in forati	168260	3,00
6	Canne fumarie	56087	1,00
7	Porte interne	168260	3,00
8	Contorni finestre, soglie, balconi, parapetti	224346	4,00
9	Serramenti esterni	224346	4,00
10	Intonaci	504780	9,00
11	Impianto riscaldamento	336519	6,00
12	Impianto idrico-sanitario, fognatura	448694	8,00
13	Impianto elettrico	280433	5,00
14	Pavimenti e rivestimenti	504780	9,00
15	Opere in ferro	112173	2,00
16	Impianti ascensori	168260	3,00
17	Sistemazioni esterne	224346	4,00
TOTALE		5608662	100

TABELLA 3 TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PARAMETRICI E DELLA LORO INCIDENZA SUL COSTO TOTALE

TABELLA DEI COSTI PARAMETRICI				
S.L.P. (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )	TEMPI (mesi)	COSTO AL m <sup>2</sup>	COSTO AL m <sup>3</sup>
5566	16698	20,0	1008	336

TABELLA 4 TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PARAMETRICI

### 2.6.3 *EDIFICIO AD USO UFFICI*

Il terzo caso pratico che si vuole presentare riguarda la costruzione di un edificio destinato a locale uffici per i Vigili del Fuoco e per i nuclei di Pronto Soccorso situato in provincia di Trento, realizzato con struttura portante in calcestruzzo armato e in prefabbricati in calcestruzzo armato precompresso. L'edificio si sviluppa su due piani fuoriterza e un piano interrato. Il primo piano è adibito ad uffici, mensa e magazzino; il piano terra comprende autorimesse (compresa un'officina meccanica), magazzini e uffici. Il piano interrato è destinato a locali tecnici e di servizio.

La conformazione planivolumetrica dell'edificio risulta costituita da due blocchi rettangolari accostati trasversalmente le cui caratteristiche dimensionali sono impostate su moduli di dimensioni di 12 m x 12 m. All'interno del blocco di estensione maggiore si apre una corte di 24 x 24 mq. Al primo piano del blocco minore e all'interno della corte si trovano terrazzi di 12 x 12 mq.

L'accesso ai piani avviene tramite tre corpi scala interni e un corpo ascensore situato in posizione baricentrica rispetto alla pianta dell'edificio. Sono comprese scale di emergenza esterne a struttura metallica.

Qui di seguito vengono presentate le caratteristiche tecniche dell'edificio descritto:

- **SCAVI E REINTERRI:** sono stati effettuati scavi di sbancamento generale del terreno e scavi a sezione obbligata per la realizzazione delle fondazioni di tipo puntuale.
- **OPERE STRUTTURALI:** le fondazioni sono di tipo puntuale. Le strutture in elevazione sono costituite da travi, pilastri e solai in conglomerato cementizio armato e precompresso.
- **MURATURE E TAVOLATI:** i tamponamenti esterni sono stati realizzati in muratura prefabbricata armata in pannelli di cls cellulare autoclavate. I divisori interni sono stati realizzati in cartongesso. Le pareti divisorie delle autorimesse al piano interrato sono in blocchi di calcestruzzo a vista.
- **TETTI E COPERTURE:** la copertura è organizzata per singoli comparti modulari, a base costante (12 m) e lunghezza variabile, a due displuvi. È costituita da cappa in cls alleggerito, posto in opera con le opportune pendenze e con manto di impermeabilizzazione.
- **FINITURE:** le superfici esterne sono state intonacate al civile e tinteggiate con tintura impermeabile coprente. Le superfici in cartongesso interne sono state rasate a gesso e tinteggiate con idropittura lavabile. Nei locali abitabili sono stati posti in opera controsoffitti ispezionabili in fibra minerale o gesso rivestito, mentre la centrale

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

termica è dotata di controsoffitto in lastre di cartongesso giuntate. La pavimentazione interna ai locali ad uso ufficio e alle parti comuni è stata realizzata in PVC. Le terrazze e i servizi igienici sono pavimentati con piastrelle in grès ceramico posate a giunto unito. Il pavimento delle autorimesse è stato eseguito in cls armato con rete elettrosaldata e strato superficiale antiusura e antiolio.

- **SERRAMENTI** : la facciata continua è costituita da struttura portante a vista in profili estrusi di alluminio a taglio termico, ancorati alla muratura mediante staffe in acciaio zincato. Nel reticolo sono stati inseriti vetri, pannelli e ante apribili a vasistas. I serramenti sono in alluminio a taglio termico con vetrocamera.
- **OPERE DI SISTEMAZIONE ESTERNA**: l'intervento ha previsto la sistemazione a verde delle aree esterne, con nuove piantumazioni e la formazione di tappeti erbosi.
- **IMPIANTI ELETTRICI E SPECIALI**: l'impianto elettrico è composto da un contatore generale, un sistema privilegiato di alimentazione elettrica funzionante con generatore autonomo, un sistema di continuità assoluta (UPS) e un sistema di sicurezza per l'illuminazione di emergenza degli uffici. Gli impianti speciali realizzati consistono in una rete cablata per la trasmissione dati e telefonia, di un impianto di diffusione sonora e di un impianto TV. Sono compresi inoltre un impianto citofonico in prossimità degli accessi, un impianto luci di emergenza centralizzato e un impianto centralizzato per la rivelazione incendi e allarme anti-intrusione. L'officina meccanica è dotata di sistemi di aspirazione dei fumi di scarico degli automezzi e di un impianto per la produzione e distribuzione di aria compressa, quest'ultimo condiviso con l'autorimessa.
- **ILLUMINAZIONE** : gli uffici sono dotati di lampade con alimentatore elettronico dimerabile digitale, sensori di luce diurna e rilevatori di presenza.
- **IMPIANTI TECNOLOGICI**: sono state installate una centrale termica con quattro moduli di caldaia a gas stagna, collegati in batteria e con collettore fumi comune, e una centrale frigorifera a due sezioni (evaporante e condensante) separate. Il riscaldamento delle autorimesse, dei magazzini e delle officine è stato realizzato con aerotermi mentre la climatizzazione degli uffici, delle sale riunioni, della mensa e dei laboratori è assicurata da circuiti a ventilconvettori. L'impianto garantisce anche la produzione ordinaria di acqua calda sanitaria.
- **IMPIANTI IDRICO-SANITARI**: lo smaltimento delle acque nere in fognatura avviene previa raccolta delle stesse in una vasca interrata dotata di stazione pompante. È stata realizzata una rete ad anello per l'alimentazione dei presidi antincendio,

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

costituiti da cassette UNI 45 situate all'interno dell'edificio e da idranti UNI 70 all'esterno, alimentati dall'acquedotto comunale.

- **OPERE PER LA SICUREZZA:** l'esecuzione delle opere ha comportato principalmente l'utilizzo di ponteggi per le attività in quota e di sistemi di protezione delle pareti di scavo.

Si presentano qui di seguito alcuni disegni che aiutino nella descrizione dell'opera presentata



FIGURA 8 PROSPETTO NORD

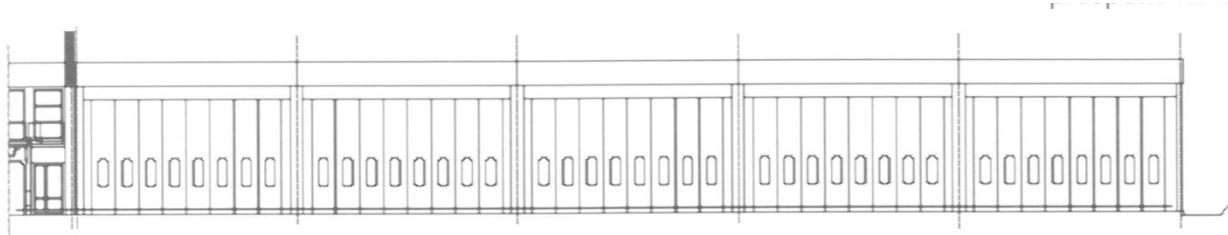


FIGURA 9 PROSPETTO OVEST

# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

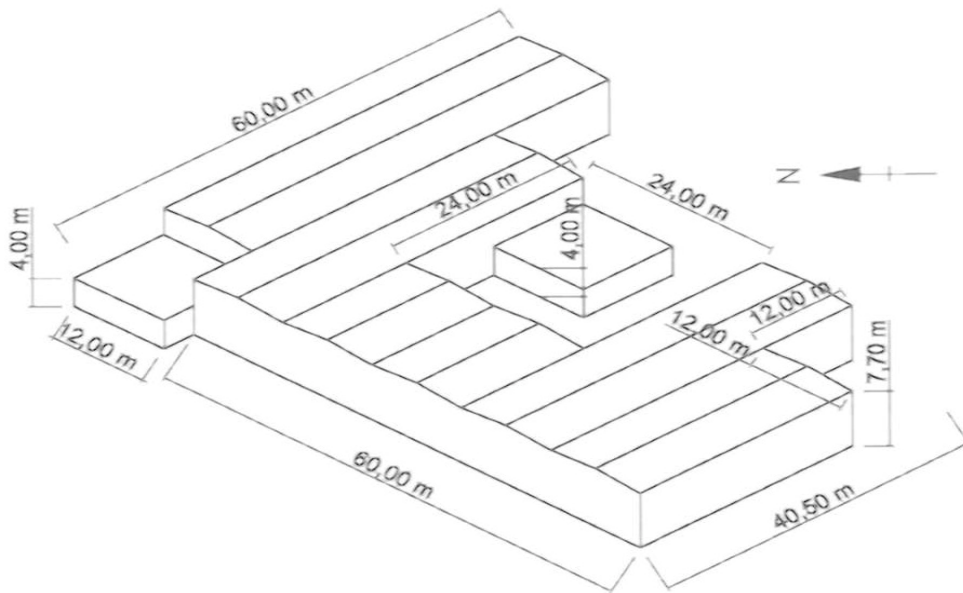


FIGURA 10 SCHEMA DEI VOLUMI DELL'EDIFICIO IN ESAME

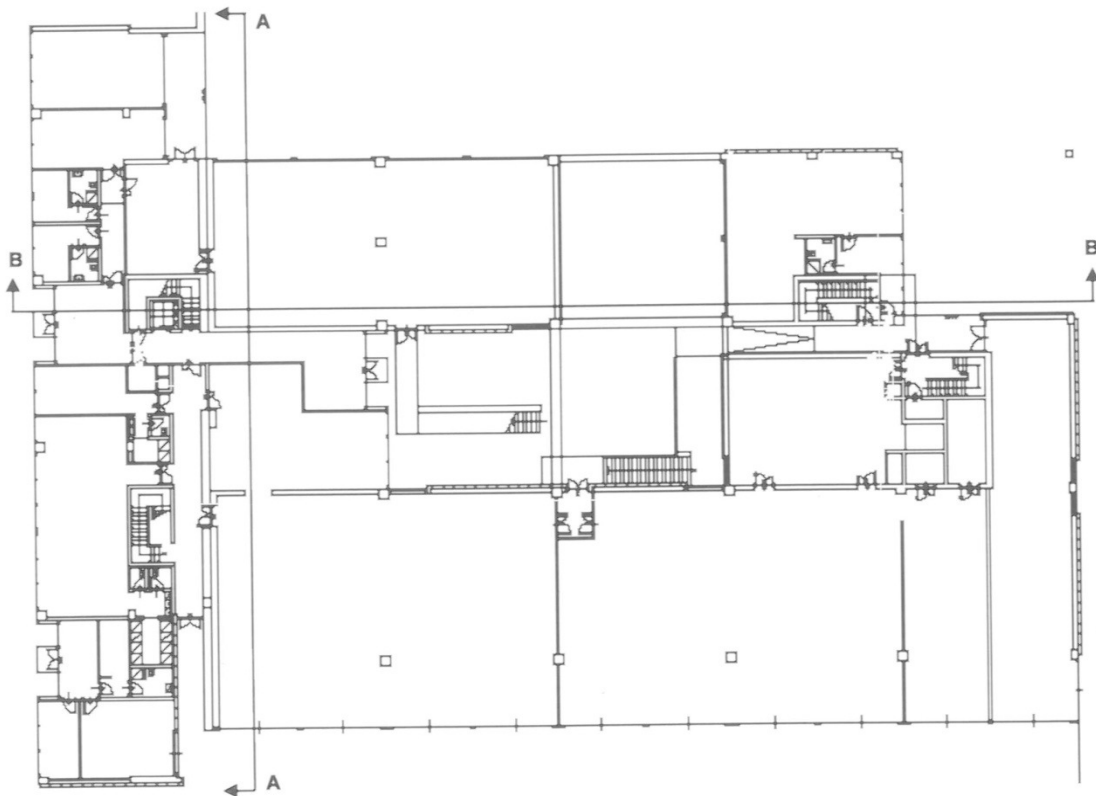


FIGURA 11 PIANTA FUORI SCALA

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

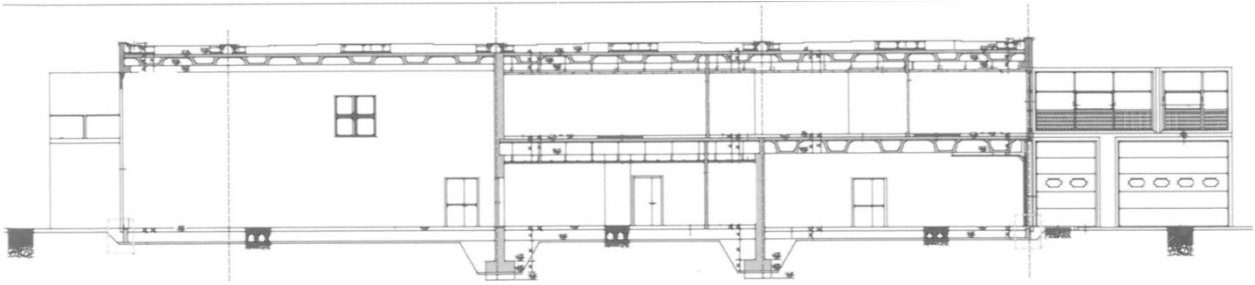


FIGURA 12 SEZIONE VERTICALE A-A'

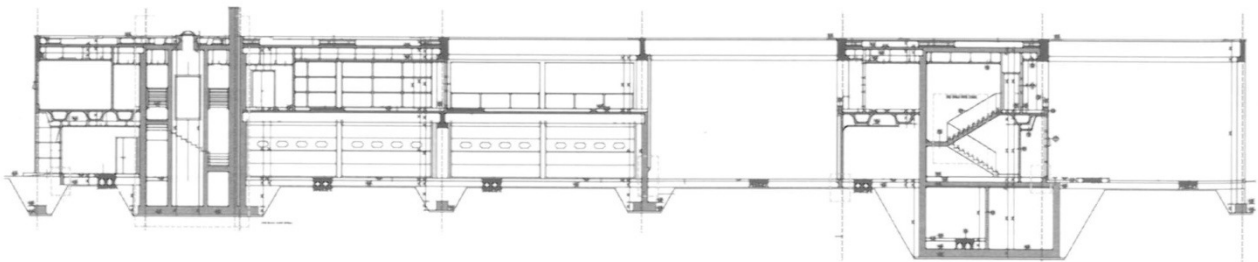


FIGURA 13 SEZIONE VERTICALE B-B'

Si riporta infine la tabella con il resoconto delle opere e dei costi; i costi trovati per ogni opera compiuta, rapportati al costo totale del fabbricato, danno una percentuale di incidenza all'interno dei lavori; ogni opera pesa più o meno di un'altra nella redazione totale dei costi. Seppure le caratteristiche di questo edificio destinato al terziario, siano qualitativamente e tecnologicamente differenti dagli edifici sopra presentati destinati al residenziale, anche in questo caso i parametri scelti sono il volume e la superficie lorda di pavimento. In questo caso però si è introdotto anche un nuovo parametro e cioè l'incidenza delle opere per la sicurezza al  $m^2$ . Il costo delle opere per la sicurezza, in questo caso infatti, pesa significativamente sul costo totale dell'opera



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PERCENTUALI D'INCIDENZA			
COD	OPERA	PREZZI IN €	%
1	Scavi e reinterri	84329	2,13
2	Calcestruzzo, ferro e giunti per c.a.	987740	24,98
3	Drenaggi, vespai sottofondi e massetti	133058	3,37
4	Murature e tavolati	177148	4,48
5	Intonaci	27466	0,69
6	Controsoffitti, contropareti e pareti mobili	47238	1,19
7	Assistenze murarie	94273	2,38
8	Pavimenti e rivestimenti	134944	3,41
9	Impermeabilizzazioni e isolamenti	302031	7,64
10	Facciate continue, serramenti e vetri	589648	14,91
11	Verniciature, tinteggiature e tappezzerie	50265	1,27
12	Impianti RCV	319991	8,09
13	Impianti idrico e sanitari	103842	2,63
14	Impianti elettrici e speciali	432317	10,93
15	Impianti elevatori	48175	1,22
16	Fognature	138177	3,49
17	Sistemazioni esterne	140354	3,55
OS	Opere per la sicurezza	142936,4	3,62
<b>TOTALE</b>		<b>3953932</b>	<b>100</b>

TABELLA 5 TABELLA DELLE PERCENTUALE DI COSTO DELLE SINGOLE LAVORAZIONI SUL COSTO TOTALE

TABELLA DEI COSTI PARAMETRICI					
S.L.P. (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )	TEMPI (mesi)	COSTO AL m <sup>2</sup>	COSTO AL m <sup>3</sup>	OS COSTO AL m <sup>2</sup>
4900	18754	27,5	807	211	29

TABELLA 6 TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PARAMETRICI

### 2.6.4 CAPANNONE INDUSTRIALE DI MEDIE DIMENSIONI

Il quarto caso che si descrive ora, riguarda l'intervento che ha interessato la costruzione di un edificio industriale, e più in dettaglio la realizzazione di un capannone industriale di medie dimensioni con struttura prefabbricata in calcestruzzo armato e in calcestruzzo armato precompresso a pianta rettangolare per una superficie totale di 1.845 m<sup>2</sup>. Internamente lo spazio è suddiviso in due ambienti di dimensioni simili, comunicanti tramite una porta scorrevole. All'interno dell'area est sono stati predisposti ambienti ad uso uffici, con relativi servizi igienici, e aree per lavorazioni particolari; all'interno dell'area ovest sono stati predisposti ambienti per lavorazioni particolari e un blocco di servizi igienici ad uso dei dipendenti.

Sul fronte sud dell'area ovest è stato previsto uno spazio esterno coperto, delimitato da pilastri in acciaio. L'intervento ha previsto la realizzazione della struttura portante, il posizionamento di pannelli prefabbricati a chiusura perimetrale degli ambienti, la realizzazione di una copertura a doppia falda in lamiera grecata coibentata, la realizzazione di partizioni interne in alluminio e laminato plastico e la predisposizione degli impianti elettrici, di illuminazione, di condizionamento e idrico-sanitario.

Qui di seguito vengono presentate le caratteristiche tecniche dell'edificio descritto:

- **SCAVI E REINTERRI:** sono stati eseguiti gli scavi a sezione obbligata per la realizzazione delle travi di fondazione.
- **OPERE STRUTTURALI:** le fondazioni sono di tipo continuo, costituite da travi rovesce in c.a. Le strutture in elevazione sono costituite da travi e pilastri in c.a. e c.a.p.; i pilastri di delimitazione dell'area all'aperto posti a sostegno della copertura sono realizzati con profilati in acciaio HEA.
- **MURATURE E TAVOLATI:** le chiusure perimetrali sono realizzate con pannelli prefabbricati in c.a. coibentati, ciechi o finestrati. Le pareti divisorie interne sono realizzate con profili in alluminio e tamponamento in laminato plastico o vetrata fonoisolante.
- **TETTI E COPERTURE:** la copertura è a doppia falda a bassa inclinazione ed è costituita da lamiera grecata zincata e interposto isolante termo-acustico. È stata inoltre realizzata la rete di evacuazione delle acque meteoriche.
- **IMPERMEABILIZZAZIONI E ISOLAMENTI:** la copertura è coibentata con pannelli in poliuretano estruso. L'isolamento della muratura esterna è realizzato con pannelli in polistirolo annegati all'interno dei pannelli in calcestruzzo prefabbricati.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

- **FINITURE:** la pavimentazione del capannone è stata realizzata con pavimento di tipo "industriale" trattato al quarzo, mentre gli uffici e i locali servizi sono rivestiti in grès porcellanato. Le pareti degli uffici sono intonacate e tinteggiate.
- **SERRAMENTI:** i serramenti sono in alluminio a taglio termico protetti con inferriate. I sistemi di oscuramento degli uffici sono costituiti da tende alla veneziana. I serramenti interni sono del tipo tamburato in laminato plastico. I portoncini d'accesso al capannone, così come i portoni scorrevoli, sono in ferro tamburato coibentato.
- **OPERE DI SISTEMAZIONE ESTERNA.** l'area esterna è recintata con inferriata in ferro su muretto in calcestruzzo. Sono stati installati due cancelli scorrevoli in ferro automatizzati. La pavimentazione dei vialetti pedonali e dei marciapiedi interni è realizzata con blocchetti di cemento.
- **IMPIANTI IDRICO-SANITARI:** è stato realizzato un impianto idrico-sanitario composto da una rete generale di distribuzione di acqua calda e fredda in tubazioni di acciaio zincato afferente ai singoli apparecchi del bagno.
- **IMPIANTI TECNOLOGICI:** l'impianto di riscaldamento della zona uffici è costituito da una caldaia a gas metano da 30.000 kCal, con relativa rete di distribuzione e termoconvettori; la zona di produzione è riscaldata da generatori pensili di aria calda alimentati a gas metano ed è stata equipaggiata con destratificatori elicoidali a soffitto.
- **IMPIANTI ELETTRICI E SPECIALI:** il capannone è stato dotato di impianto elettrico, impianto di illuminazione, di impianto antincendio fisso di estinzione a pioggia (sprinkler) e di impianto di aria compressa.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

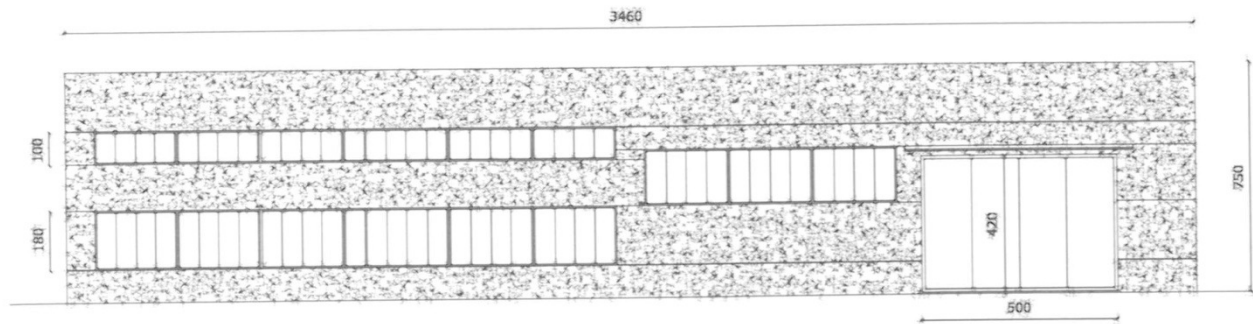


FIGURA 14 PROSPETTO PRINCIPALE

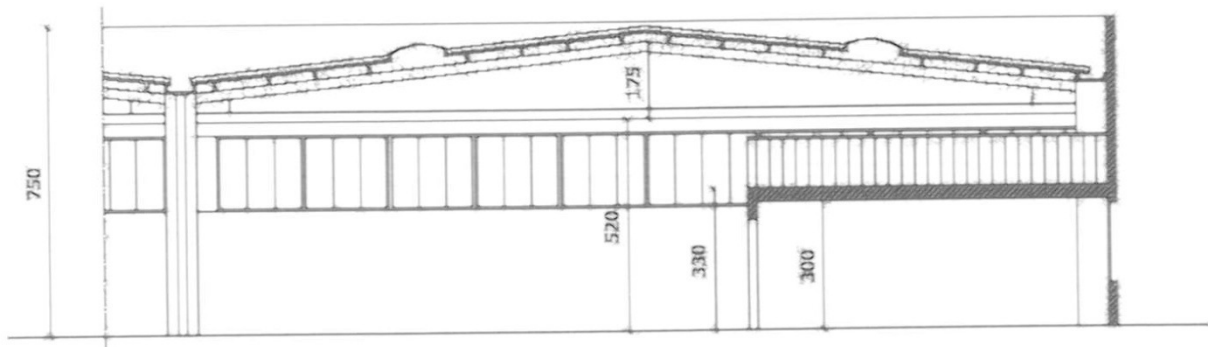


FIGURA 15 SEZIONE VERTICALE A-A'

# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

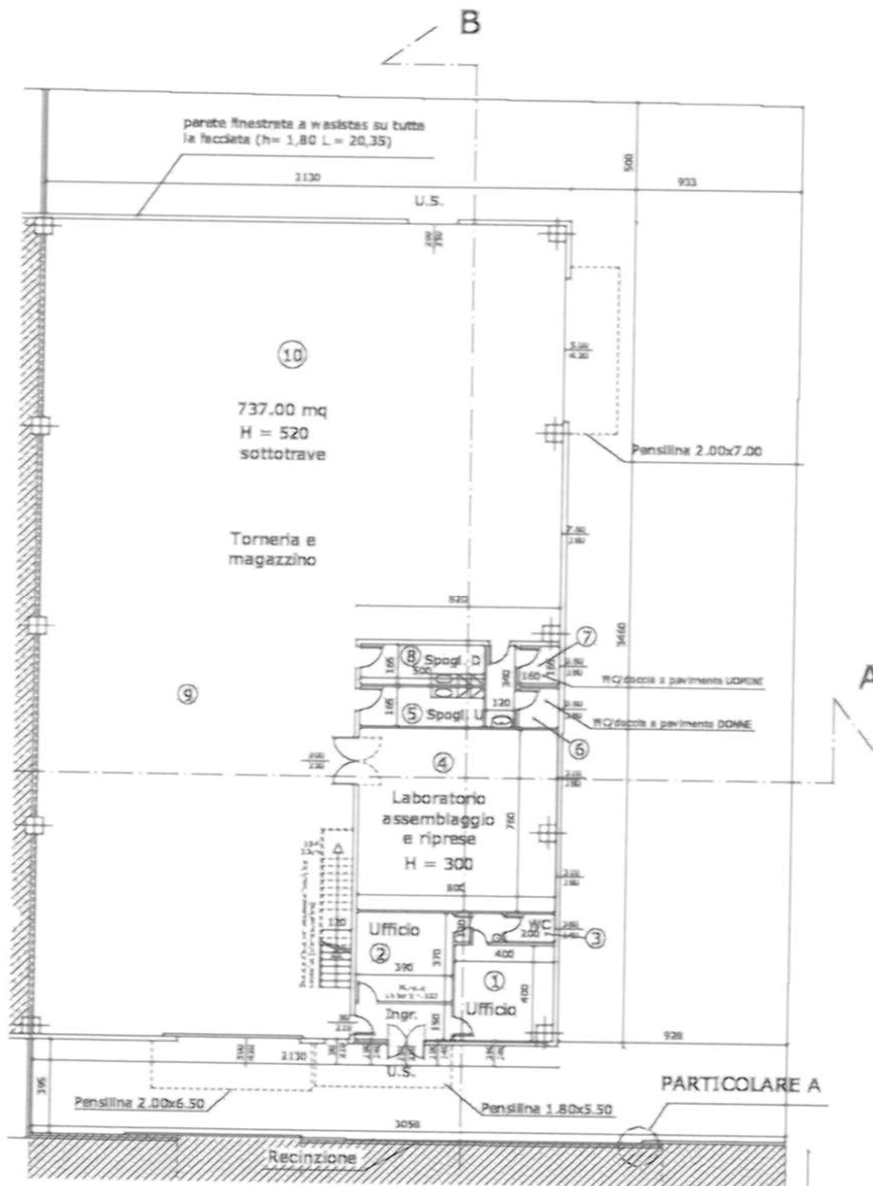


FIGURA 16 PIANTA

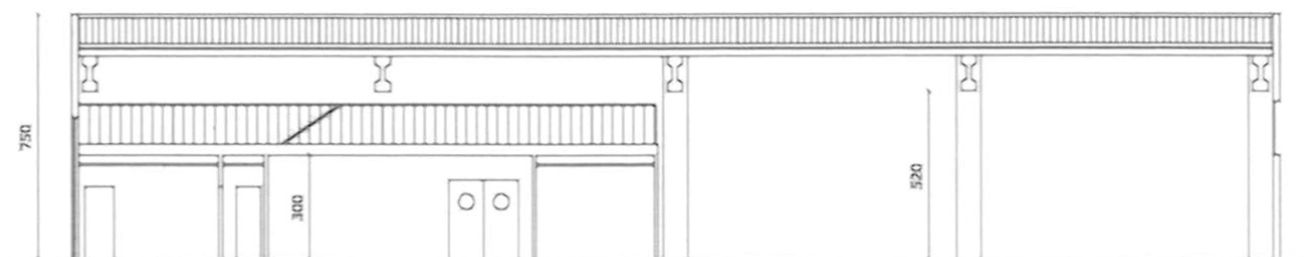


FIGURA 17 SEZIONE VERTICALE B-B'

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

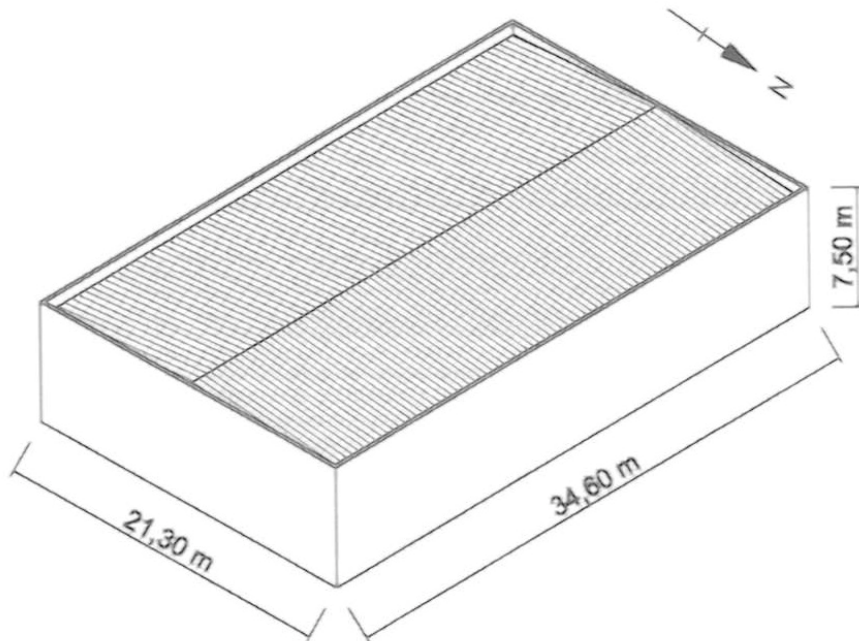


FIGURA 18 RAPPRESENTAZIONE SCHEMATIZZATA DEI VOLUMI

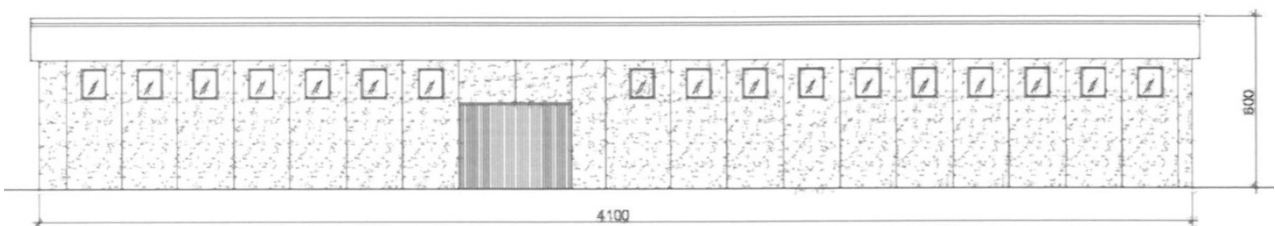


FIGURA 19 PROSPETTO OVEST

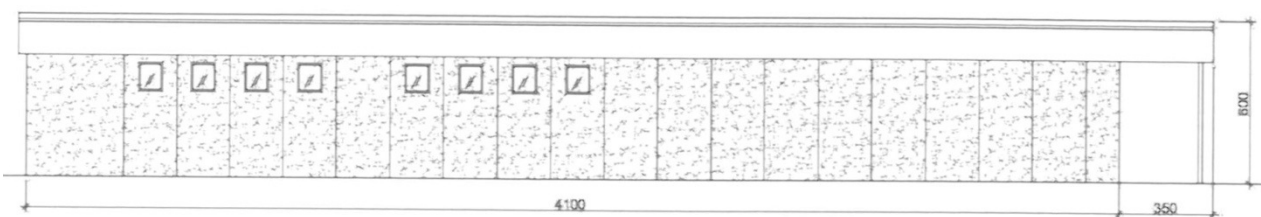


FIGURA 20 PROSPETTO EST

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Si vuole infine mostrare in la tabella con il resoconto delle opere di cui prima detto e con il resoconto dei costi; i costi trovati per ogni opera compiuta, rapportati al costo totale del fabbricato, danno una percentuale di incidenza all'interno dei lavori; ogni opera pesa più o meno di un'altra nella redazione totale dei costi. Anche in questo caso, come per il caso dell'edificio destinato al terziario, si è introdotto un nuovo parametro e cioè l'incidenza delle opere per la sicurezza al m2. Il costo delle opere per la sicurezza, in questo caso infatti, pesa significativamente sul costo totale dell'opera.

TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PERCENTUALI D'INCIDENZA			
COD	OPERA	PREZZI IN €	%
1	Scavi e reinterri	24730	4,51
2	Calcestruzzo, ferro e giunti per c.a.	130650	23,83
3	Drenaggi, vespai sottofondi e massetti	8011	1,46
4	Tetti e coperture	87988	16,05
5	Murature e tavolati	89794	16,37
6	Controsoffitti, contropareti e pareti mobili	22742	4,15
7	Intonaci	3679	0,67
8	Assistenze murarie	10872	1,98
9	Pavimenti e rivestimenti	25115	4,58
10	Impermeabilizzazioni e isolamenti	7848	1,43
11	Pluviali, gronde e canali, lattonerie	7561	1,38
12	Opere in ferro	9430	1,72
13	Facciate continue, serramenti e vetri	12109	2,21
14	Verniciature, tinteggiature e tappezzerie	3112	0,57
15	Impianti RCV	27483	5,01
16	Impianti idrico e sanitari	12479	2,28
17	Impianti elettrici e speciali	14577	2,66
18	Fognature	12532	2,29
OS	Opere per la sicurezza	37651,23	6,87
TOTALE		548363	100

TABELLA 7 TABELLA DI RIEPILOGO DELL'INCIDENZA DELLE LAVORAZIONI SUL COSTO TOTALE

TABELLA DEI COSTI PARAMETRICI					
S.L.P. (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )	TEMPI (mesi)	COSTO AL m <sup>2</sup>	COSTO AL m <sup>3</sup>	OS COSTO AL m <sup>3</sup>
1775	11070	7,5	309	50	21

TABELLA 8 TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PARAMETRICI



### 2.6.5 SCUOLA MATERNA

Il quinto caso pratico che si presenta riguarda un caso di edilizia pubblica, in particolare la costruzione di una scuola materna. L'intervento ha interessato la realizzazione di una scuola materna di tre classi per una capienza massima di 90 bambini. Il sito è pianeggiante e in zona semiperiferica nei pressi di Milano; l'area di intervento ha una forma trapezoidale per una superficie fondiaria di circa 3.950 m<sup>2</sup>.

La pianta dell'edificio è rettangolare e si sviluppa su un solo livello, a piano terra. La struttura dell'edificio e la distribuzione dei locali sono stati definiti in considerazione di un eventuale ampliamento, con l'annessione di un ulteriore gruppo di aule da destinare ad asilo nido; in particolare gli spazi comuni e i vani scaldavivande, infermeria, servizi e aula insegnanti sono collocati in posizione baricentrica una volta completata l'opera. Tutte le aule si aprono su un porticato interno prospiciente il giardino.

La progettazione ha attinto alla tradizione lombarda per i materiali da costruzione, mattoni e legno, rivisitandoli in chiave tecnologica per garantire la massima funzionalità e comfort della struttura, in particolare rispetto all'isolamento termico e acustico e prevedendo l'utilizzo di pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica.

Qui di seguito vengono presentate le caratteristiche tecniche dell'edificio descritto:

- **SCAVI E REINTERRI:** sono stati effettuati scavi di sbancamento generale fino ad una profondità di circa 0,30 m e scavi a sezione obbligata per la realizzazione delle fondazioni.
- **OPERE STRUTTURALI:** se fondazioni sono di tipo continuo. Le strutture in elevazione sono costituite da travi e pilastri in c.a. Il solaio delle aree occupate da aule, corridoio e ingresso è realizzato in laterocemento, mentre il solaio del locale centrale termica è in elementi prefabbricati tipo predalles. Sul solaio è stato posato uno strato coibente e lo strato di sottofondo. La soletta a copertura del corridoio e dell'atrio di ingresso è stata realizzata in c.a. gettato in opera.
- **DRENAGGI, VESPAI, SOTTOFONDI E MASSETTI:** il vespaio areato è stato eseguito con prefabbricati in pvc, previa formazione del piano di posa a getto.
- **MURATURE E TAVOLATI:** le murature delle chiusure perimetrali sono state realizzate in doppia parete in laterizio a intercapedine. Le murature esterne dell'ingresso, della torre laterale (scala di servizio), dell'aula polivalente ed il rivestimento dei pilastri del porticato, sono state realizzate in mattoni pieni semiartigianali sabbiati e anticati. I tavolati divisorii interni sono stati realizzati in doppia parete in laterizio con



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

inserimento nell'intercapedine di un pannello isolante termoacustico in lana di legno mineralizzata.

- **TETTI E COPERTURE:** la copertura del corpo principale dell'edificio poggia su struttura in travi di legno lamellare ed è costituita da un perlinato in legno di abete, coibentazione termica, listelli di pendenza in legno di abete e manto di copertura in coppi. Sono stati installati canali, pluviali, converse e scossaline in rame.
- **IMPERMEABILIZZAZIONI E ISOLAMENTI:** la copertura è stata coibentata con pannelli rigidi di lana di vetro ad alta densità rivestiti con uno strato di bitume ad elevata grammatura. L'isolamento della muratura esterna è stato realizzato con pannelli di lana di vetro. I pacchetti stratigrafici delle partizioni tra le aule e delle chiusure sono stati definiti in modo da garantire valori di fonoisolamento contro la trasmissione del rumore aereo coerenti con i limiti richiesti dalla normativa.
- **FINITURE:** le superfici interne ed esterne della scuola sono state intonacate al civile e tinteggiate. Le parti interne delle aule sono state trattate con intonaco fonoassorbente, per ridurre i tempi di riverbero e migliorare il comfort acustico. La pavimentazione interna è stata realizzata con piastrelle in grès ceramico, quella dei terrazzi di copertura in piastrelle di cemento. La controsoffittatura del corridoio, delle zone di servizio, dei bagni e dell'infermeria è stata realizzata in lastre prefabbricate in materiale fonoassorbente. Davanzali e soglie sono in serizzo lucido.
- **SERRAMENTI:** i serramenti esterni delle aule, finestre e lucernari, sono in alluminio a taglio termico con guarnizioni centrali ed esterne e vetrocamera con vetro stratificato antisfondamento ad elevato isolamento termo-acustico. Le porte interne sono in laminato e la porta verso il locale scaldavivande è in legno; le porte sull'esterno sono vetrate con vetri antisfondamento. La parete divisoria tra l'aula C e l'aula destinata ad attività libere/mensa presenta una porzione trasparente, realizzata con vetrocamera di tipo fonoisolante. I serramenti esterni del corridoio, dell'atrio di ingresso e dei locali non destinati a didattica, oltre ai lucernari del portico, sono in alluminio e in vetro stratificato.
- **OPERE IN FERRO:** è stata installata una scala di servizio esterna, parapetti e ringhiere in acciaio zincato sul terrazzino in copertura dell'atrio di ingresso. L'accesso all'area di pertinenza dell'edificio avviene da un cancello carraio a due battenti e da un cancello pedonale in ferro zincato.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

- **IMPIANTI ELETTRICI E SPECIALI:** in copertura sono stati montati, su apposita struttura in ferro posata sul terrazzo, pannelli fotovoltaici ad integrazione dell'impianto elettrico.
- **IMPIANTI TECNOLOGICI:** l'impianto di riscaldamento è centralizzato e integrato per la produzione di acqua calda sanitaria. L'impianto antincendio è costituito da una rete ad idranti e impianto di spegnimento automatico a sprinkler.
- **IMPIANTI IDRICO-SANITARI:** l'intervento ha previsto la realizzazione dell'impianto idrico-sanitario completo, con tubazioni in traccia e apparecchi sanitari in ceramica a pavimento.
- **OPERE ESTERNE:** le sistemazioni esterne comprendono il rifacimento del marciapiede e dell'accesso carraio, l'allacciamento alla rete fognaria e alla rete telefonica e la realizzazione di una recinzione perimetrale costituita da un muretto in calcestruzzo (altezza 1 m) sormontato da una rete metallica. L'area a verde circostante è stata predisposta alla semina mediante stesa e modellazione di terra da coltivo e installazione di un impianto di irrigazione. L'illuminazione esterna è garantita da 10 lampioni su plintino in cls.
- **OPERE PER LA SICUREZZA:** per l'esecuzione dei lavori si è resa necessaria la realizzazione di ponteggi per l'accesso in quota, la predisposizione di sistemi di protezione delle pareti di scavo e l'utilizzo di casseforme e puntelli per i getti di calcestruzzo e la formazione dei solai.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

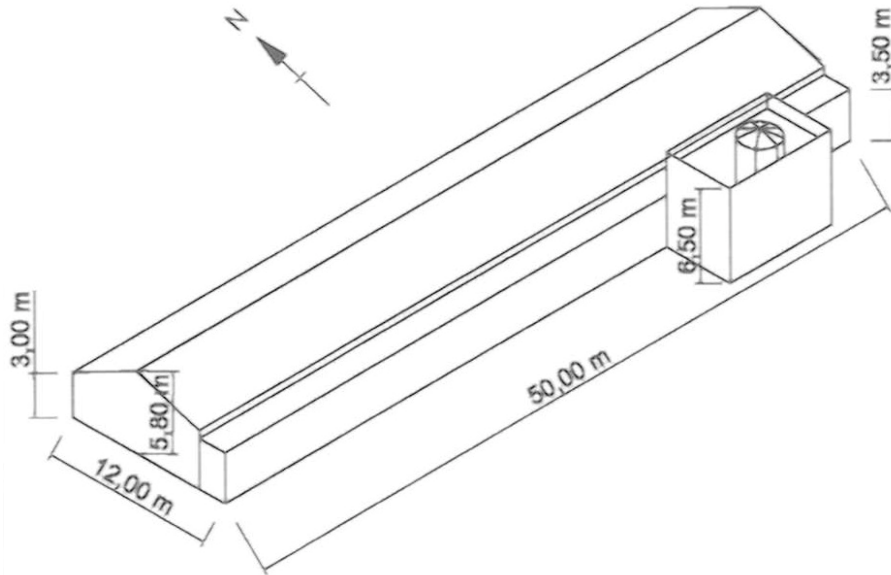


FIGURA 21 SCHEMA DEI VOLUMI CHE COMPONGONO LA SCUOLA MATERNA

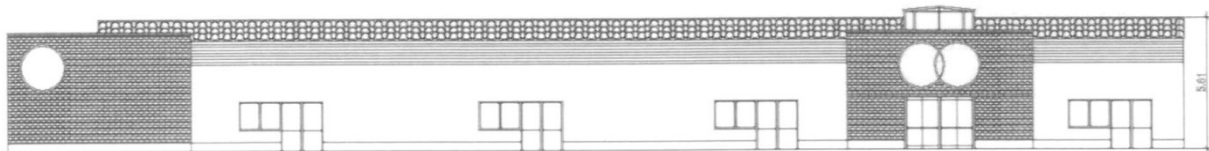


FIGURA 22 PROSPETTO NORD

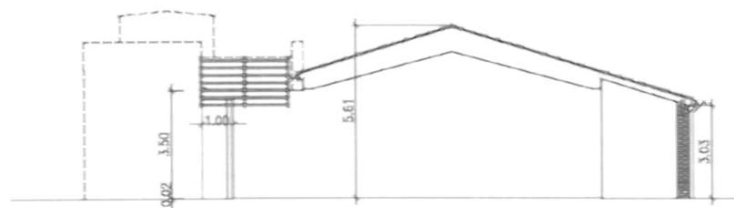


FIGURA 23 PROSPETTO EST

# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

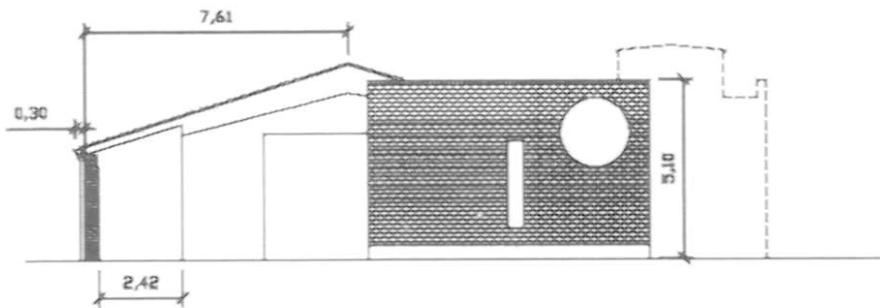


FIGURA 24 PROSPETTO OVEST

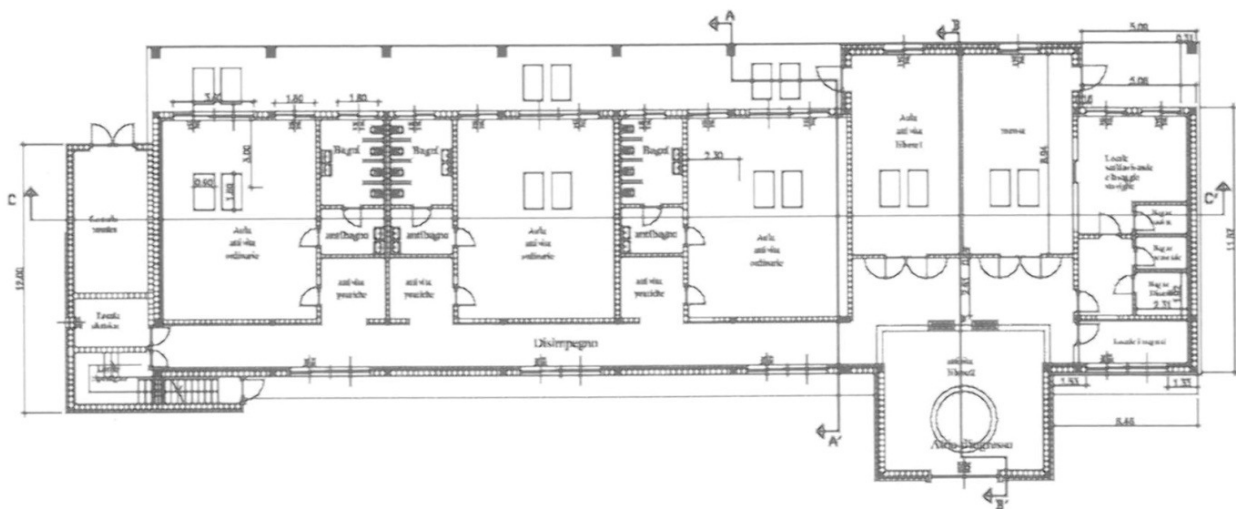


FIGURA 25 PIANTA

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

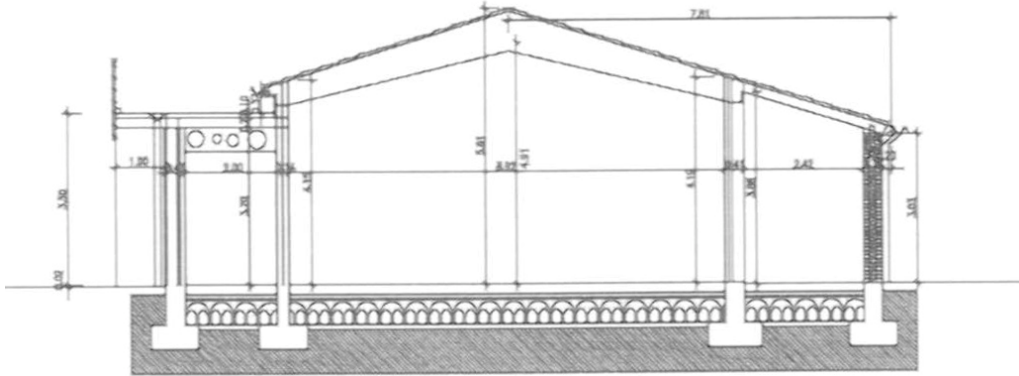


FIGURA 26 SEZIONE VERTICALE A-A'

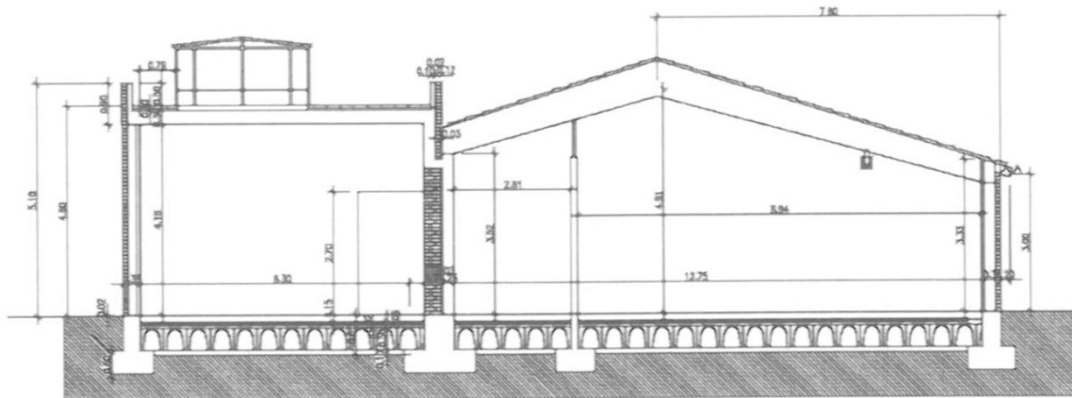


FIGURA 27 SEZIONE VERTICALE B-B'

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

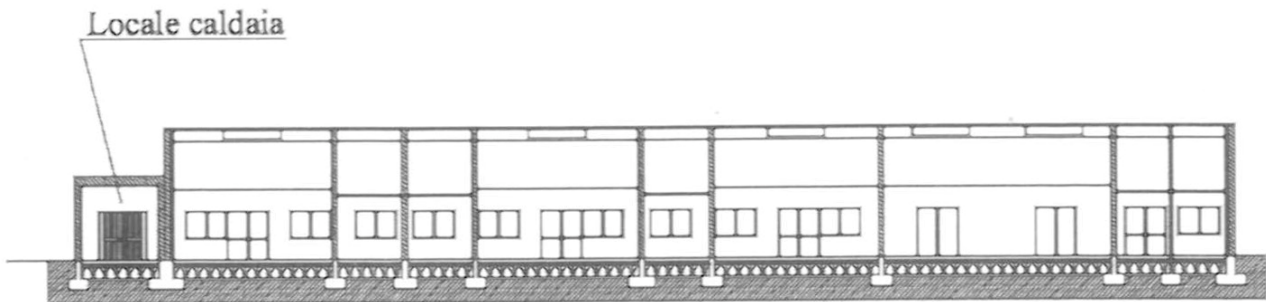


FIGURA 28 SEZIONE VERTICALE C-C'

La tabella seguente riporta il resoconto delle opere sopra descritte con il resoconto dei costi; i costi trovati per ogni opera compiuta, rapportati al costo totale, danno una percentuale di incidenza all'interno dei lavori; ogni opera pesa più o meno di un'altra nella redazione totale dei costi.

Conosciuti volume e superficie lorda di pavimento è possibile parametrizzare il tutto in funzione di questi due parametri. Per questa opera di urbanizzazione primaria si è scelto di utilizzare gli stessi parametri scelti precedentemente; diventa importante parametrizzare il tutto in funzione delle opere per la sicurezza.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PERCENTUALI D'INCIDENZA			
COD	OPERA	PREZZI IN €	%
1	Demolizioni e rimozioni	1400	0,63
2	Scavi e reinterri	3040	1,36
3	Impianti elettrici e speciali	67606	30,33
4	Acquedotti (compresi allacciamenti)	14182	6,36
5	Fognature(compresi allacciamenti)	36077	16,18
6	Opere stradali	68276	30,63
7	Illuminazione pubblica	5471	2,45
8	Sistemazioni esterne	21854	9,80
OS	Opere per la sicurezza	5000	2,24
TOTALE		222905	100

TABELLA 9 INCIDENZA DELLE SINGOLE LAVORAZIONI SUL COSTO

TABELLA DEI COSTI PARAMETRICI				
S.T. (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )	TEMPI (Giorni)	COSTO AL m <sup>2</sup>	OS COSTO AL m <sup>3</sup>
8600		120,0	26	1

TABELLA 10 COSTI PARAMETRICI

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

### 2.6.6 STRADA URBANA

L'ultimo intervento che si presenta qui di seguito riguarda la realizzazione di una strada urbana a Milano. Esso ha riguardato la costruzione di un tratto di strada di 1.500 m circa di lunghezza e 12 m di larghezza su un lotto di terreno destinato ad attività industriali. E' stato dapprima realizzato lo spianamento dell'area, lo sbancamento del materiale in eccesso e la posa di uno strato filtrante.

Successivamente è stata realizzata la massicciata con uno strato in tout - venant ricoperto da due strati di sottofondo in conglomerato cementizio. Il rivestimento della strada è costituito da un manto di conglomerato bituminoso. Ai lati della strada sono stati realizzati due marciapiedi rivestiti con conglomerato bituminoso colato e delimitati da cordoli in cls.

Le opere accessorie hanno riguardato la realizzazione dell'illuminazione pubblica con corpi illuminanti montati su pali in acciaio zincato e la rete di smaltimento delle acque meteoriche.

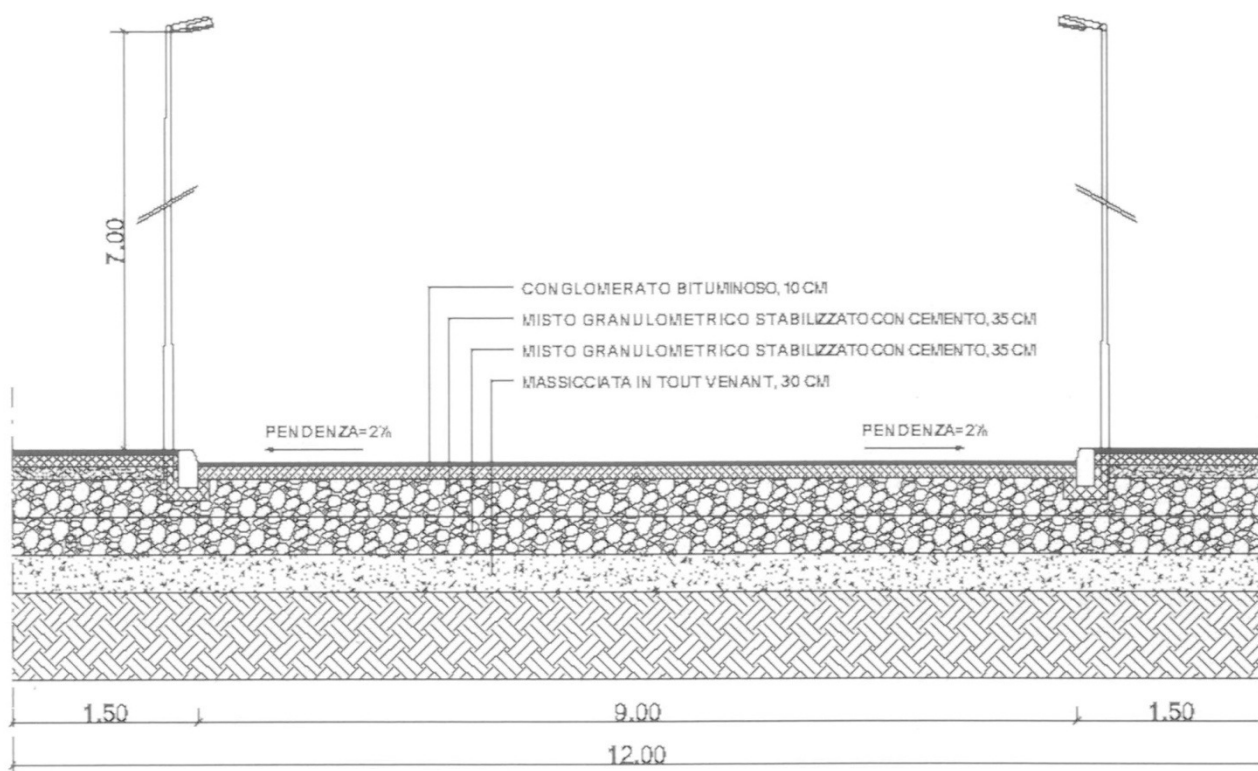


FIGURA 29 SEZIONE VERTICALE DELLA STRATIGRAFIA DELLA SEDE STRADALE PRIMA DELL'INTERVENTO



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

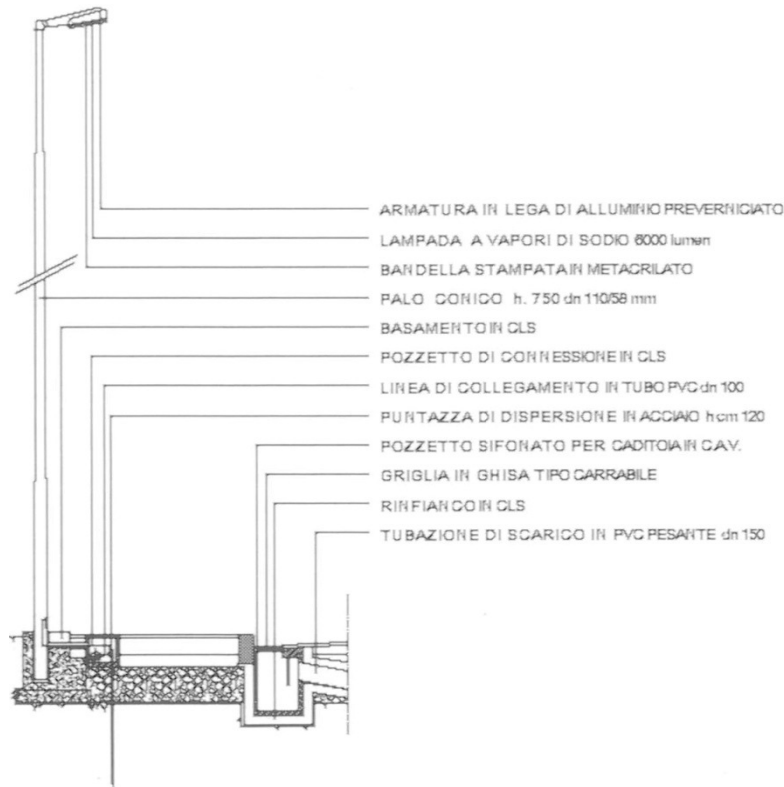


FIGURA 30 SEZIONE VERTICALE DELLA ZONA DELLA SEDE STRADALE OGGETTO DI INTERVENTO

Qui di seguito vengono presentate le caratteristiche tecniche

- **SCAVI E REINTERRI:** sono stati effettuati scavi di sbancamento del materiale in eccesso e successiva compattazione per lo spianamento dell'area.
- **CALCESTRUZZI, FERRO E GIUNTI PER C.A.:** sono stati eseguiti getti di conglomerato cementizio per i basamenti dei lampioni.
- **OPERE STRADALI:** e' stato posato uno strato filtrante in geotessile. Successivamente sono stati realizzati in ordine la massiciata in tout-venant di spessore 30 cm, due strati di sottofondazione stradale in misto granulometrico stabilizzato con cemento da 35 cm ciascuno e uno strato di base in conglomerato bituminoso con inerti calcarei di spessore 10 cm. Per i marciapiedi lo strato di base è stato effettuato con malta bituminosa di spessore 10 cm. Per il drenaggio puntuale sono stati posati pozzetti in cls con griglia carrabile in ghisa; le tubazioni sono state collegate alla fognatura esistente.
- **IMPIANTI ELETTRICI :** il nuovo impianto viene alimentato con allacciamento in derivazione da sistemi TT, tensione nominale 380 V trifase con neutro, con i centri

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

luminosi alimentati in parallelo a 220 V monofase. I cavi dei circuiti di alimentazione utilizzati sono del tipo FG7R-0,6/1 kV per il fissaggio su fune in testata, la loro protezione contro le sovracorrenti è garantita da interruttori magnetotermici installati nei quadri elettrici in classe II, IP65 collocati negli armadi stradali (esistenti) in vetroresina con portello a chiusura a chiave. La derivazione dei montanti ai singoli centri luminosi è stata effettuata dai circuiti di distribuzione mediante morsettiere di classe II installate in apposite finestrelle predisposte nei pali. All'interno dei pali il montante posato è costituito da cavo multipolare del tipo FG7OR-0,6/1 kV. Il comando funzionale dell'impianto è stato realizzato con l'utilizzo di relè crepuscolari nei quadri elettrici. E' stato inoltre eseguito il collegamento all'impianto di messa a terra.

- **IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE:** sono stati posati n. 30 pali troncoconici dritti, altezza fuori terra 7,00 m, in lamiera di acciaio saldata e zincata a caldo, con predisposizione passaggio cavi. Sui pali sono state installate n. 30 lampade a vapori di sodio ad alta pressione da 150 W, composti da telaio in alluminio pressofuso, riflettori in alluminio brillantato con recuperatore di flusso, copertura apribile a cerniera, diffusore in vetro temprato e portalampada in ceramica.
- **SISTEMAZIONI ESTERNE:** sono stati posati cordoli in cls di sezione 20 x 15 cm a delimitazione dei marciapiedi.

Si vuole infine mostrare la tabella con il resoconto delle opere di cui prima detto e con il resoconto dei costi; i costi trovati per ogni opera compiuta, rapportati al costo totale, danno una percentuale di incidenza all'interno dei lavori; ogni opera pesa più o meno di un'altra nella redazione totale dei costi.

Conosciuti volume e superficie lorda di pavimento è possibile parametrizzare il tutto in funzione di questi due parametri. Per questa opera di urbanizzazione primaria si è scelto di utilizzare gli stessi parametri scelti precedentemente; diventa importante parametrizzare il tutto in funzione delle opere per la sicurezza.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

TABELLA RIASSUNTIVA DEI COSTI PERCENTUALI D'INCIDENZA			
COD	OPERA	PREZZI IN €	%
1	Scavi e reinterri	14855	1,69
2	Calcestruzzi, ferro e giunti per c.a.(opere strutturali)	7406	0,84
3	Impianti elettrici e speciali	70000	7,97
4	Opere stradali	722521	82,22
5	Illuminazione pubblica	19424	2,21
6	Sistemazioni esterne	34830	3,96
OS	Opere per la sicurezza	9760	1,11
TOTALE		878797	100

TABELLA 11 INCIDENZA DELLE LAVORAZIONI SUL COSTO

TABELLA DEI COSTI PARAMETRICI				
S.T. (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )	TEMPI (Giorni)	COSTO AL m <sup>2</sup>	OS COSTO AL m <sup>3</sup>
18000		240,0	49	1

TABELLA 12 COSTI PARAMETRICI DERIVATI DALL'INTERVENTO

### 2.7 CONSIDERAZIONI

Allo stato dell'arte, quello che si può desumere riguardo all'utilizzo dei costi parametrici per valutare l'impatto del costo di un'opera in fase preliminare, è che si è ancora molto lontani da una soluzione convincente e universalmente applicabile.

Il data base di opere dimostrative è ancora piuttosto scarno; il Collegio degli Ingegneri di Milano e provincia infatti, sta compiendo un'opera di studio e archiviazione di casi pratici, di opere costruite nel breve periodo, in modo tale da avere il maggior numero possibile di casi di studio.

Per potere infatti arrivare ad una normalizzazione e ad una universalizzazione dei costi parametrici, ossia per poter applicare gli stessi criteri per la stessa categoria di opera realizzata, occorre avere un notevole data base di informazioni storiche.

Ad oggi questo data base è piuttosto scarno; come si è già detto nelle pagine precedenti infatti, cercare di uniformare tutte le tipologie edilizie e dunque i costi di queste tipologie, non è per nulla facile, poiché il mondo delle costruzioni è influenzato da una serie di numerosissimi fattori.

I regolamenti edilizi differenti da città a città, le condizioni climatiche, la collocazione del cantiere e una serie di altri fattori altrettanto significativi, non permettono con facilità di paragonare sempre due casi a volte molto simili.

Nei casi sopra presentati non si è alcun modo calcolato in modo ingegneristico il costo parametrico né si sono utilizzati metodi neurali o calcoli simili; si è solo voluto fare un sunto delle varie tipologie edilizie.

## 2.8 CASI PRATICI DI APPLICAZIONE DI MODELLI NON LINEARI DA RETE NEURALE

### 2.8.1 *STIMA DEL COSTO DELLA RETE FERROVIARIA METROPOLITANA AD ANKARA*

Il primo caso di studio preso in considerazione riguarda l'analisi dei costi e la fattibilità del progetto di realizzazione di un tratto di metropolitana in Turchia. Per sviluppare uno studio sui costi di costruzione sono stati presi in esame 13 progetti già realizzati di ferrovia metropolitana al fine di sviluppare un modello parametrico. I progetti considerati, nel caso in discorso, consistevano di 8 linee di metrò e 5 impianti di illuminazione ed erano stati tutti messi in opera in un arco di tempo compreso fra il 1986 e il 2005. Il valore della messa in opera dei progetti era variabile fra i 25 e i 420 milioni di euro. I fattori che maggiormente hanno interessato gli sviluppatori del modello sul quale basare le valutazioni per il nuovo progetto sono stati sei; essi sono stati ritenuti i fattori che maggiormente avevano influenzato i costi di produzione degli impianti metropolitani già realizzati. Essi erano nell'ordine:

- la percentuale totale di lunghezza delle sezioni di tunnel eseguite rispetto alla lunghezza dell'intera linea **(PTN)**
- la percentuale delle sezioni sopraelevate sulla lunghezza dell'intera linea **(PES)**
- la percentuale dei tratti in pendenza sulla lunghezza dell'intera linea **(PAG)**
- la percentuale della lunghezza delle sezioni di tunnel realizzate con il metodo scava-e-copri rispetto alla lunghezza totale dell'intera linea **(PCC)**
- la fornitura e l'installazione del materiale rotabile **(SRW)**
- il numero di stazioni sotterranee **(UGS)**

Oltre a questi sei fattori, definiti come parametri principali, sono stati individuati 5 parametri secondari in aggiunta ai precedenti. Questi sono ritenuti di importanza minore, ovviamente, e il loro impatto meno significativo, ma comunque non superfluo. Essi sono:

- tipo di contratto (a forfait o per unità di costo) **(CTP)**

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

- numero di stazioni in pendenza (**AGS**)
- numero di stazioni in elevazione (**EST**)
- lunghezza totale della linea (**TLM**)
- Percentuale della lunghezza totale delle rampe di accesso rispetto alla lunghezza totale della linea principale (**PDO**)

Nel primo modello di regressione tutti i sei parametri principali sono stati inseriti come variabili indipendenti. Questo primo modello viene denominato con la sigla R1 e il costo per chilometro nell'anno 2005 assume questa forma:

$$UC = \beta_0 + \beta_1 \cdot PTN + \beta_2 \cdot PES + \beta_3 \cdot PAG + \beta_4 \cdot PCC + \beta_5 \cdot SRW + \beta_6 \cdot UGS$$

Il significato ed il valore dei parametri all'interno dei modelli di regressione vengono valutati per mezzo del valore P, coefficiente che misura l'impatto del parametro in esame sul valore complessivo dell'opera. In generale, un valore P alto indica che il contributo del parametro al quale è accoppiato all'interno del modello non è significativo. L'inclusione di parametri insignificanti può portare ad una scarsa capacità predittiva del modello e, pertanto, l'eliminazione di questi fattori è indispensabile per aumentare la possibilità di pervenire a risultati realistici. Di seguito è stata inserita la tabella che indica il valore corrispondente ad ogni parametro all'interno dei vari modelli. Partendo dal modello R1 si è valutato il fattore P del primo parametro (PCC); una volta che si è deciso se mantenerlo o meno, lo si inserisce o meno nel secondo modello parametrico nel quale viene pesato il contributo del secondo fattore (UGS) e così via.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Modello	Parametro corrispondente al coefficiente con il valore P più largo	Valore del coefficiente P
R1	PCC	0,92
R2	UGS	0,69
R3	PAG	0,23
R4	SRW	0,23
R5	PES	0,01
R6	CTP	0,40
R7	AGS	0,33
R8	EST	0,71
R9	TLM	0,66
R10	PDO	0,47

TABELLA 13 PARAMETRI E COEFFICIENTI P CORRISPONDENTI CON VALORE PIÙ AMPIO PER OGNI MODELLO DI CALCOLO PARAMETRICO

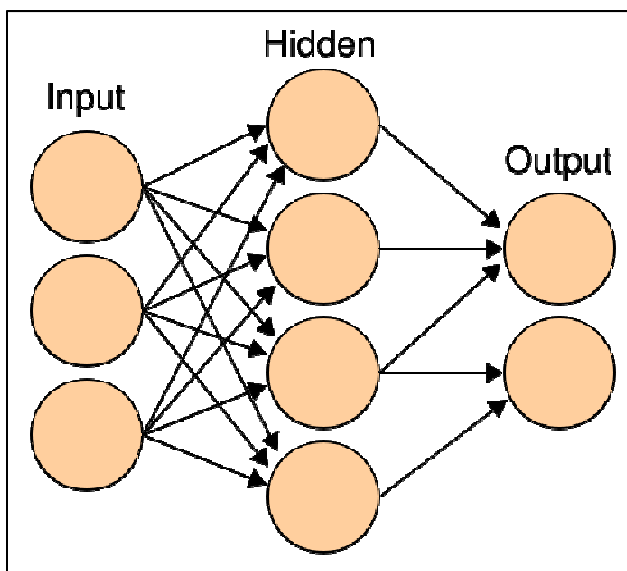
Alla fine si ottengono 10 modelli di regressione includendo nell'analisi anche i parametri secondari fino a giungere al modello di regressione definitivo. Il valore P di  $\beta_4$  corrispondente al parametro PCC era 0,92 nel primo modello di regressione e per tanto è stato eliminato. Il secondo modello di regressione R2 prende in considerazione tutti gli altri parametri rimanenti e rivela che il parametro UGS non incide in maniera significativa sui costi; anche quest'ultimo viene quindi eliminato dal modello. Si procede in questa maniera sino a giungere al modello R5 che include i parametri PTN (percentuale delle sezioni di tunnel) e PES (percentuale di sezioni costruite in elevazione). Questi ultimi contribuiscono entrambi in maniera rilevante. Si procede oltre e si trova che i rimanenti parametri non sono da considerarsi importanti nello sviluppo del modello di calcolo parametrico. A questo punto si procede valutando l'impatto dei parametri secondari uno per volta e si giunge alla medesima conclusione: nessuno di essi è da includersi. E' importante sottolineare che i modelli sviluppati includono solo relazioni lineari tra i parametri e i costi unitari dei progetti della rete metropolitana. Considerare in tali formulazioni matematiche anche i termini non lineari potrebbe portare ad un considerevole cambiamento nei risultati finali; inoltre, quando più parametri sono inseriti allo stesso tempo diventa complicato individuare i livelli di relazione tra i parametri stessi.

A tale scopo vengono utilizzate le reti neurali ed i modelli da esse sviluppati. Esse consistono in semplici unità di tipo computazionale organizzate ed in rapporto di interdipendenza creato da una serie di connessioni. Queste reti hanno, in altre parole, la capacità di determinare le relazioni tra i parametri di input e di output. Nella questione riguardante la modellizzazione del costo parametrico possono quantificare l'impatto che i parametri hanno sul costo individuando le relazioni esistenti nei dati di progetti storici. Una situazione tipica di modello

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

neurale sviluppato a tal fine è quella che prevede l'inserimento dei parametri al livello degli input e i costi a quello degli output. Inoltre, tra gli elementi di input ed output il sistema delle reti neurali, per rendere più facile lo svolgimento dell'algoritmo di calcolo, inserisce automaticamente un livello intermedio definito come "nascosto" che serve da sponda per rappresentare le relazioni esistenti fra un parametro e gli altri e fra questi ed il costo. Due modelli di rete neurale sono presi in esame come alternative ai modelli di regressione lineare sviluppati sino ad ora. Nel primo modello (denominato con la sigla N1) tutti i sei parametri primari sono inseriti nel livello di input e i costi unitari in quello di output. Il livello nascosto contiene sempre un numero di unità o fattori pari alla somma fra gli elementi in input e



DI FUNZIONAMENTO DI  
URALE

quelli in output, in questo caso sette. Il secondo modello neurale (N2) prevede l'uso, invece, di due soli parametri significativi, quelli che si sono rivelati come tali all'interno dello sviluppo del modello parametrico di regressione: il PTN (percentuale delle sezioni di tunnel scavati) e il PES (percentuale di sezioni in elevazione). Essere in grado di determinare i modelli parametrici adatti è importante soprattutto nella fase di determinazione delle relazioni non lineari, anche se questo può presentare delle difficoltà specialmente quando le reti che si stanno "allenando" assumono un numero limitato di dati. Tutto questo viene messo in luce soprattutto grazie al confronto fra i modelli lineari (parametrici) e quelli non lineari (neurali). La capacità di predizione permette, dunque, di ottenere con ragionevole accuratezza una stima del costo del progetto. Esiste un metodo basato sulla tecnica di validazione incrociata che si svolge nella seguente maniera: innanzitutto due progetti sono selezionati casualmente; i rimanenti sono usati per sviluppare i modelli di predizione (sia parametrici che neurali). I progetti usati come esempio sono sottoposti ai cicli di calcolo dei modelli sviluppati. Questa procedura viene svolta dalle due alle sei volte, in maniera tale da poter inserire ad ogni tornata una coppia differente di progetti scelti con casualità. A questo punto viene calcolato un indice chiamato "MAPE" (mean absolute percent error) che quantifica la percentuale di errore dei diversi modelli messi in pratica per identificare quello con la maggior capacità predittiva.



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Questa procedura permette quindi di selezionare in maniera sommaria, ma già abbastanza accurata, il modello che meglio si avvicina a descrivere il reale andamento dei costi. Il calcolo del MAPE è stato fatto anche per i tre modelli presi in considerazione per il progetto della metropolitana turca e i risultati sono così riassumibili:

<i>Modello</i>	<i>MAPE</i>
R5	35,2
N1	49,8
N2	33,3

TABELLA 14: CONFRONTO MAPE VARI MODELLI

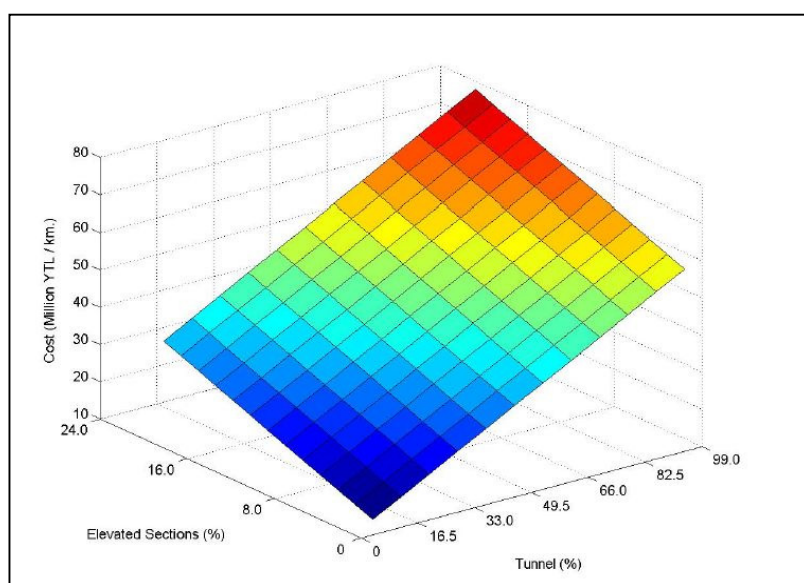


FIGURA 32 SUPERFICIE COSTI/PERCENTUALE DI SEZIONI IN ELEVAZIONE/PERCENTUALE DI SEZIONI DI TUNNEL DEDOTTA DAL MODELLO R5 PARAMETRICO- SUPERFICIE LINEARE

L'errore minore viene commesso se si utilizza il modello N2. L'errore si propaga maggiormente invece qualora il calcolo venga condotto con il modello della rete neurale N1 si ottengono i risultati peggiori, addirittura anche rispetto al modello parametrico R5. Esiste un range raccomandato entro il quale le stime di fattibilità devono muoversi: si ritiene che esse non possano fluttuare oltre i

limiti inferiori e superiori del +50% e -30% del valore di riferimento stimato. La previsione di costo che si

potrebbe sviluppare con i modelli R5 e N2 risultano validi poiché entro questi valori.

Il comportamento dei modelli in fatto di capacità di stima dei costi può essere sottoposto ad un attento controllo per mezzo di analisi volte ad evidenziare la sensibilità con la quale i modelli collegano i legami fra i differenti parametri e le connessioni che esistono fra i fattori in input ed il costo in output. Questo nuovo elemento, la sensibilità di "percezione" posseduta da ogni modello, risulta rilevante, poiché è cruciale per la buona riuscita della predizione che il

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

modello sappia trovare e scartare quelli che sono i legami superflui o inutili nel complesso delle relazioni fra fattori; tutto questo assume una maggior importanza qualora si avesse a che fare con una rete neurale già sufficientemente "allenata" alla quale vengano sottoposti dati scarsi e poco organizzati. Questa fase di analisi dei modelli viene condotta variando i due parametri PTN e PES presenti in entrambi i modelli R5 e N2. La percentuale minima che ognuno dei due termini di raffronto possono assumere è 0%. Il massimo livello per il PTN è 99%, mentre per il PES è 24%. I risultati di questo procedimento sono riportati nelle figure di seguito ed evidenziano una superficie lineare che, come ci si aspettava, indica un continuo ed uniforme aumento del costo unitario all'aumentare della percentuale rispettivamente di sezioni di tunnel e di sezioni in elevazione della metropolitana prodotte. Il modello usato dalla rete neurale N2 dall'altra parte presenta una superficie non lineare con una capacità di stima migliore di poco al modello R5 specialmente dopo che il valore di PTS ha sperato la soglia del 66%. Per tanto il modello adottato non è quello sviluppato dalla rete neurale, ma dall'analisi di regressione R5.

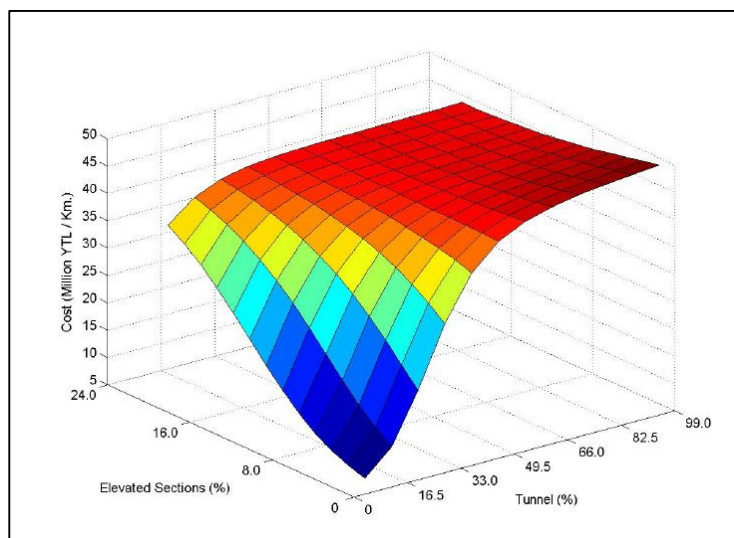


FIGURA 33 SUPERFICIE COSTI/PERCENTUALE DI SEZIONI IN ELEVAZIONE/PERCENTUALE DI SEZIONI DI TUNNEL DEDOTTA DAL MODELLO N2 DI RETE NEURALE - SUPERFICIE NON LINEARE

La schema a flusso che riassume il metodo impiegato in questo caso d'esempio, può essere questo (vedi pagina successiva):

# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

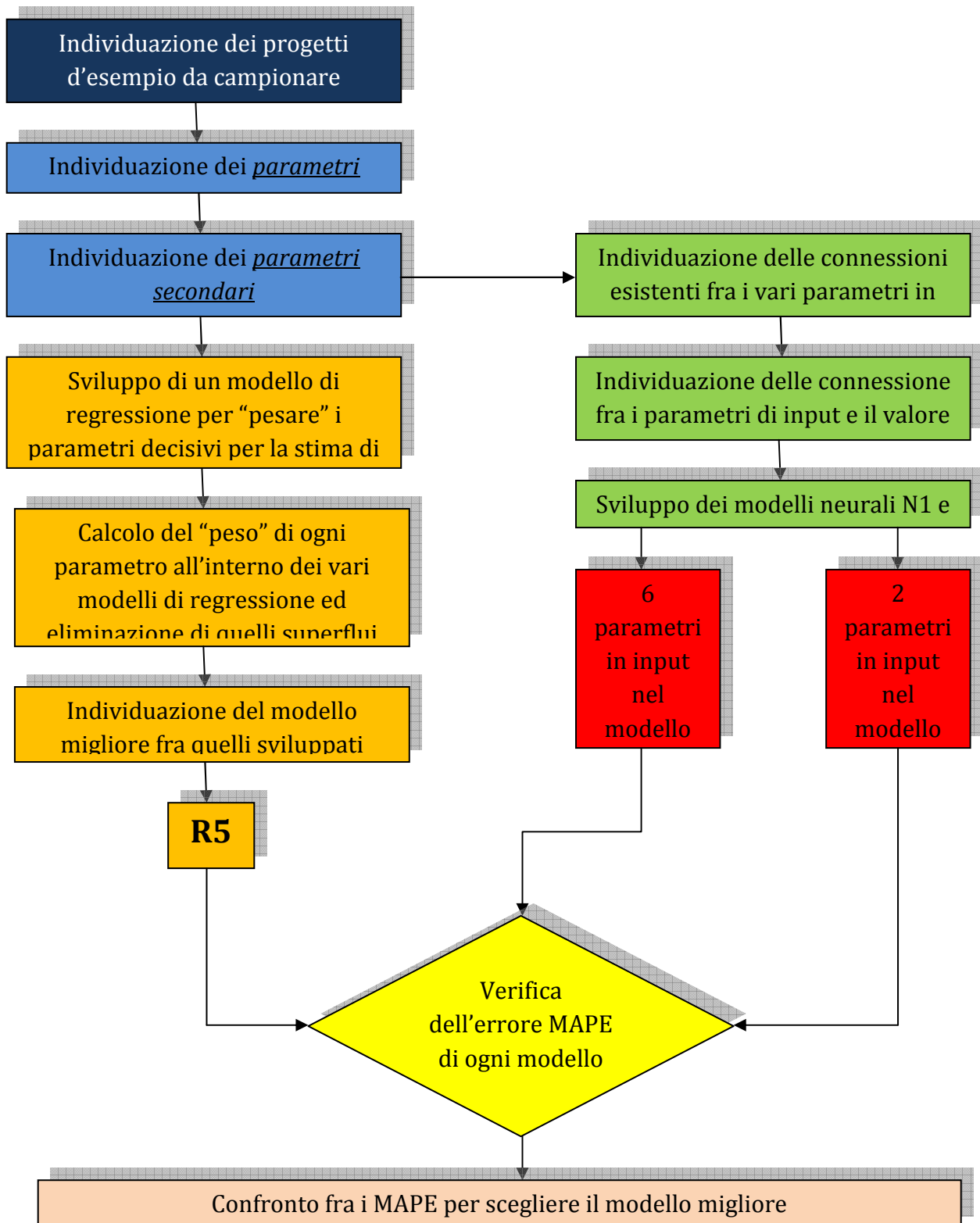


FIGURA 34 SCHEMA DI FLUSSO UTILIZZATO PER L'ANALISI DEI COSTI DI PROGETTO DELLA METROPOLITANA TURCA

### 2.8.2 STIMA DEL COSTO DI PROGETTI DI NUCLEI ABITATIVI COREANI

Questo caso preso in esame mostra innanzitutto come la localizzazione di un processo edilizio possa considerarsi come uno tra i fattori più influenti per la creazione di un modello che porti alla realizzazione di una stima corretta e attendibile. Per tale motivo, molte volte la realizzazione di questi modelli è affidata più che ad algoritmi e sistemi di calcolo “preconfezionati” ad esperti locali che, in base al proprio bagaglio di esperienze accumulate, siano in grado di selezionare quelli che sono i parametri più importanti da inserire nei modelli di calcolo. Solitamente si utilizzano, come si è precedentemente detto, un sistema di calcolo basato sul costo unitario rispetto al fattore che maggiormente impatta sul costo finale del progetto. In verità, in tempi recenti (2005) alcuni studiosi (Soutos e Lowe) hanno prodotto e sviluppato modelli di costo parametrico che, per mezzo di un'equazione di regressione multipla, riescono ad individuare con buona precisione le variabili di costo più significative. Il problema del quale ci si sta occupando con questo documento rimane, in ogni caso, sempre lo stesso: essere in grado di rilevare quali sono le interazioni e i legami più importanti fra le differenti variabili in gioco, quali di queste sono da scartare e, fra le rimanenti, come variano i rapporti di interdipendenza al fine di ottenere un sistema di calcolo sommario adeguatamente preciso ed accurato. Nel caso preso in esame si chiarirà come sia stato creato un modello di stima dei costi passando per varie fasi: il punto di partenza è, però, sempre comune, quale che sia l'approccio con il quale ci si avvicini al risultato finale; esso è il set di dati iniziali che riguardano progetti già realizzati in passato che fungono da campione.

Il processo si avvia sempre con un orientamento euristico, ponendosi due domande fondamentali:

1. in quale maniera i parametri possono essere scelti con un metodo sistematico e inseriti in una scala gerarchica per importanza
2. se esiste un metodo alternativo

Per risolvere la questione nel caso coreano è stata impiegata una metodologia di tipo statistico chiamata “Modello di costo parametrico basato su dati pre-analizzati su base statistica” (SPBP); questa è una tecnica nata per essere usata con strumenti elettronici. Per costruire questo modello sono stati utilizzati i dati di 124 progetti di appartamenti o nuclei abitativi provenienti dalla Corea. L'obiettivo che lo studio si proponeva era la realizzazione di un modello di costo più accurato rispetto ai metodi convenzionali. La fase caratterizzante il metodo preso in esame in questo caso è quella del “pre-processo” o “pre-analisi” dei dati: convenzionalmente, nei modelli di regressione, infatti, i dati sono assunti senza una fase preliminare di scrematura e vengono sottoposti ad un processo di valutazione senza tuttavia andare a stabilire la consistenza tecnica e qualitativa reale dei parametri in gioco. E' doveroso dire che alcuni studiosi hanno cercato di aggirare questo problema creando in maniera

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

autonoma dei sistemi di computazione della stima che sono risultati molto complicati. Il problema principale da affrontare nell'utilizzo dei dati è quello per il quale i dati stessi possono essere afflitti da distorsioni (definite come "rumori") e possono alterare i risultati di stima. La "pulitura" dei dati nella fase di pre-processo dei dati elimina gli errori presenti nel set iniziale di dati ed esclude a priori quei valori che possono essere fonte di anomalia.

Il modello SPBP viene sviluppato con lo scopo di trattare i dati secondo uno schema di flusso ben preciso che può essere riassunto dal seguente grafico:

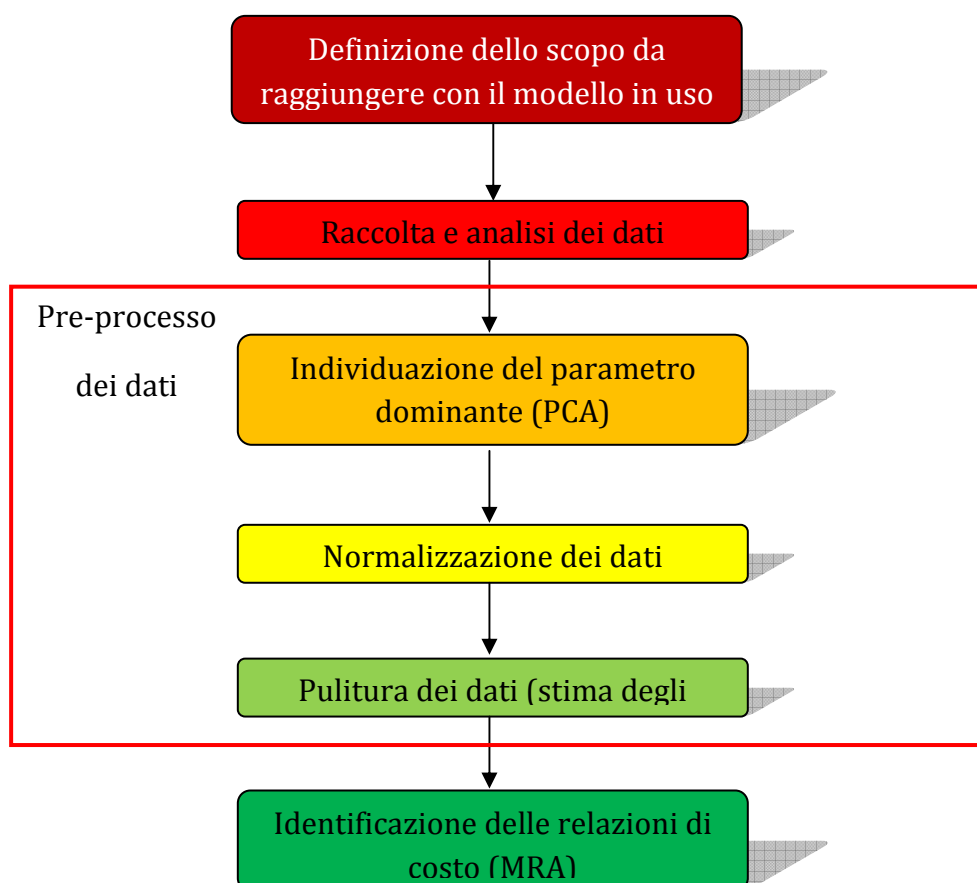


FIGURA 35: DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL PROCESSO DI STIMA USATO IN COREA

Innanzitutto viene definito lo scopo che il modello si pone; quindi avviene la raccolta dei dati storici ed essi vengono normalizzati, ovvero vengono divisi secondo una variabile comune al fine di eliminare l'effetto di quella stessa variabile sui dati in esame. Il fattore comune è generalmente il parametro dominante. Questo viene fornito da un'analisi dei dati indicata con la sigla PCA che è la più semplice analisi basata su auto vettori. L'utilità di questa fase risiede nella sua capacità di rilevare quella che è la struttura implicita ai dati forniti e che è in grado di

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

spiegare la variazione degli stessi. La tecnica del PCA, dunque, permette di ottenere nuove variabili come combinazione lineare di quelle iniziali senza però perdere le caratteristiche e le informazioni fondamentali portate dalle prime. A questo punto si procede dividendo i dati per l'unità di costo e li si "puliscono", infine, attraverso passaggi di analisi di regressione per escludere effetti che potrebbero portare a calcoli indeterminati. Per mostrare come può funzionare il modello SPBP sono stati identificati i progetti di appartamenti e caserme militari che saranno usati come oggetti campione; il modello deve innanzitutto essere adattato al caso in esame e poi implementato. Si procederà, quindi, alla comparazione fra i risultati ottenuti e quelli dovuti ad altri metodi, in special modo quelli basati

- a) sull'unità di superficie (il parametro di riferimento è il costo per metro quadro, indicato dall'inglese con la sigla GFA, "gross floor area")
- b) sull'unità abitativa (NH, "number of households")

Il caso di studio delle caserme seguirà lo studio degli appartamenti e sarà utilizzato come strumento di valutazione per l'efficacia del modello sviluppato.

Per praticità sono stati scelti in totale 7 parametri significativi attraverso i quali iniziare l'analisi dei dati; sono stati selezionati in quanto è difficile raccogliere delle variabili di tipo qualitativo per fare un'analisi di tipo statistico e perché l'incidenza di queste variabili di progetto sulla variazione globale è poco significativa. Per esaminare l'impatto di ogni variabile di progetto, sono stati analizzati i rapporti di costo di ogni lavorazione su un complesso abitativo rispetto al costo complessivo. La percentuale coperta dai costi di carattere strutturale è del 12,38%, il 45,86% è dovuto a lavorazioni per gli interni, il 7,37% per l'arredo, il 6,66% per i serramenti (porte e finestre). Poiché in Corea la maggior parte degli edifici è realizzata con strutture in cemento armato che è considerato economico e particolarmente adatto per la tipologia edilizia in esame. Perciò il parametro che riguarda i lavori di carattere strutturale non può essere considerato adottabile. I lavori per gli interni sono dovuti a 200 tipi diversi di materiali. Messi in ordine di costo, all'interno di questa categoria di lavorazioni solo i materiali per la pavimentazione detengono una percentuale sui costi degli interni del 53,55% (6,63% sui costi totali di edificazione) e quelli della tappezzeria sono pari al 10,32% (1,5% sull'intera costruzione). Questo implica che l'influenza di questo tipo di variabile è bassa. In sostituzione, dunque, a questo tipo di variabile sono stati introdotti i seguenti parametri, oltre ai due già precedentemente inclusi:

- numero di piani per ogni gestione abitativa
- numero di ascensori

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

- numero di famiglie ad ogni piano per ascensore
- numero di pilastri per ogni gestione abitativa
- numero di piani

Tutte le categorie parametriche sono state adottate per l'analisi delle differenti metrature degli appartamenti: 84 m<sup>2</sup>, 59 m<sup>2</sup> e 49 m<sup>2</sup>. Da un attento studio delle piante degli abitati si comprende che tutte le unità abitative sono riconducibili alle singole tipologie prima elencate: o hanno una metratura lorda esattamente pari a quella indicata, oppure possono essere intese come combinazione di quelle indicate. Per questo l'analisi viene condotta sugli appartamenti con quelle superfici e non l'intera gamma realmente esistente.

Categoria	Fattore	Informazione
Parametri	X1	NH
	X2	GFA
	X3	Numero di piani per unità abitativa
	X4	Numero di ascensori
	X5	Numero di piani per unità abitativa
	X6	Numero di piloti su scala abitativa
	X7	NH ad ogni piano per ascensore
Informazioni di costo considerate	I costi totali; l'unità di costo pesata sulla superficie lorda; l'unità di costo sul numero di case; l'unità di costo per piano	

TABELLA 15 CONFIGURAZIONE DEI PARAMETRI DI COSTO

Una volta acquisiti i dati utili dai progetti esistenti, si è passati alla ricerca di quelli che erano gli schemi ed i legami nascosti fra le informazioni avute in dote. In tale maniera i dati vengono passati all'interno di un processo che permette di inserirli all'interno di una struttura ordinata



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

e di più facile utilizzo. Si campionano gli elementi selezionati che vengono inseriti in un sottoinsieme più piccolo rispetto a quello iniziale. Questo permette di ottenere anche un singolo oggetto di input senza che questo possa essere caratterizzato da eccessivi errori interni. In tal maniera i dati vengono decontestualizzati e riutilizzabili sempre. Questo processo è guidato dal PCA che permette la normalizzazione. Osservando i fattori che hanno effetto sui costi all'interno del database, è intuibile che alcuni di essi hanno una forte correlazione con il costo e al contempo hanno un forte legame l'uno con l'altro. Il grado con il quale viene misurata la forza di tale legame è riportato in tabella e viene misurato con numeri positivi e negativi: in questa maniera si può essere a conoscenza del rapporto fra due variabili e della "direzione" del medesimo; infatti, quando tale numero è inferiore a -0,5 e superiore a +0,5 allora si ha una alta correlazione fra i parametri in esame. Di fatti, come si può leggere nelle tabelle di seguito, esiste uno stretto rapporto che lega fra loro il costo di costruzione con ognuno di questi fattori: GFA, NH e il numero di piani.

	Tipologia 49 m <sup>2</sup>						
<i>Parametri</i>	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
X1	1,00	-	-	-	-	-	-
X2	0,94	1,00	-	-	-	-	-
X3	0,76	0,75	1,00	-	-	-	-
X4	0,00	0,17	0,56	1,00	-	-	-
X5	0,32	0,30	-0,36	-0,72	1,00	-	-
X6	0,71	0,72	0,83	0,32	-0,17	1,00	-
X7	0,83	0,65	0,52	-0,42	0,35	0,57	1,00
Costo	0,92	0,98	0,73	0,15	0,30	0,75	0,64

TABELLA 16 ANALISI DI CORRELAZIONE FRA PARAMETRI (COEFFICIENTI DI CORRELAZIONE DI PEARSON):  
ABITAZIONE DA 49 m<sup>2</sup>



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

	Tipologia 59 m <sup>2</sup>						
<i>Parametri</i>	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
X1	1,00	-	-	-	-	-	-
X2	0,98	1,00	-	-	-	-	-
X3	0,70	0,67	1,00	-	-	-	-
X4	0,06	0,02	0,51	1,00	-	-	-
X5	0,70	0,70	0,03	-0,34	1,00	-	-
X6	0,32	0,37	0,10	-0,42	0,39	1,00	-
X7	0,63	0,65	0,46	-0,53	0,38	0,53	1,00
Costo	0,96	0,99	0,73	0,09	0,63	0,39	0,52

TABELLA 17 ANALISI DI CORRELAZIONE FRA PARAMETRI: ABITAZIONE DA 59 m<sup>2</sup>

	Tipologia 84 m <sup>2</sup>						
<i>Parametri</i>	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
X1	1,00	-	-	-	-	-	-
X2	0,98	1,00	-	-	-	-	-
X3	0,81	0,76	1,00	-	-	-	-
X4	0,04	- 0,04	0,32	1,00	-	-	-
X5	0,53	0,56	- 0,02	- 0,38	1,00	-	-
X6	0,33	0,30	0,38	- 0,23	0,21	1,00	-
X7	0,64	0,67	0,55	- 0,61	0,32	0,52	1,00
Costo	0,93	0,96	0,76	- 0,07	0,49	0,31	0,70

TABELLA 18 ANALISI DI CORRELAZIONE FRA PARAMETRI: ABITAZIONE DA 84 m<sup>2</sup>

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Utilizzando una funziona denominata Pacchetto Statistico per le Scienze Sociali (sigla inglese SPSS) si estraggono due componenti dalle otto variabili per quel che riguarda la tipologia costruttiva da 49 m<sup>2</sup> e 59 m<sup>2</sup>, mentre le componenti ritrovate per quella da 84 m<sup>2</sup> sono tre. I valori più rappresentativi e di facile utilizzo per il problema sono quelli della prima componente. Questa colonna esprime la percentuale di variazione per ogni parametro. I componenti di maggior variazione sul costo sono quelli del fattore X2 (cioè, il GFA) che viene assunto, per tanto, come parametro dominante nelle tre tipologie costruttive.

	Componente per la tipologia 49	Componente per la tipologia 59	Componente per la tipologia 84
<b>Parametri</b>			
X1	0,968	0,967	0,956
X2	0,954	0,978	0,962
X3	0,855	0,669	0,781
X4	0,161	-0,096	-0,176
X5	0,152	0,698	0,542
X6	0,850	0,509	0,493
X7	0,768	0,760	0,807
Costo	0,949	0,967	0,952
Percentuale di variazione	60,475	57,567	57,187

TABELLA 19 VALORE DEI COMPONENTI "1" ESTRATTI CON LA FUNZIONE SPSS PER OGNI PARAMETRO

Basandosi su degli intervalli di sicurezza, l'intervallo di stima è quel range all'interno del quale il valore di costo stimato deve fluttuare per poter essere accettato ed è indice dell'accuratezza della stima stessa. Una volta condotta la normalizzazione e il campionamento statistico secondo il GFA (\$/m<sup>2</sup>), si trovano 25 casi su 49 con un livello di accuratezza del 95%, 30 su 49 al 99% per la tipologia "84"; 13 di 25 con una precisione del 95% e 9 di 25 al 99% per le abitazioni "59"; 7 su 16 al 95% e 9 di 16 al 99% per le unità abitative "49". Questi sono i casi che sono stati considerati per arrivare alla modellazione dell'equazione di stima del costo

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

finale. Per determinare le relazioni sulle quali si fonderanno le stime di costo è stato usato un metodo statistico per determinare il rapporto fra le variabili quantitative. Tradizionalmente per questo scopo viene utilizzato un metodo matematico di regressione multipla che porta alla definizione di una formula matematica in grado di sostenere una predizione accurata e di saper modulare l'informazione portata dal parametro nei calcoli previsti. Anche nel caso in esame si è proceduto con un meccanismo del genere, preceduto dall'utilizzo della funzione di regressione SPSS.

Dai dati ottenuti dalla ricerca condotta si è visto che i risultati indicano che l'approccio così impostato può mostrarsi davvero molto utile per la valutazione dei costi di progetti molto controllati (cioè i cui dati sono continuamente aggiornati e registrati) come nel caso degli edifici coreani. La fondamentale differenza rispetto ai metodi comunemente usati per lo scopo che la ricerca si propone consiste nel fatto che i dati sono sviluppati solamente dopo essere stati "puliti da possibili rumori" che potrebbero avere un impatto negativo sulla stima finale.

In seguito alla valutazione del prezzo dei progetti in esame, è seguita una fase di validazione verifica del modello. Si è proceduto con la comparazione basandosi sui dati dei casi rimanenti, precedentemente scartati; in particolar modo, si è proceduto con la scelta di 11 casi con appartamenti del tipo 59 e 84. Si è utilizzato un metodo tradizionale di stima in prima battuta con valutazioni basate su costi unitari (GFA - \$/GFA - e NH - \$/NH). Il paragone con i dati ottenuti dimostra che la percentuale di errore medio del metodo basato sul SPBP per la tipologia 84 è minore del 22% circa se non avviene il pre-processo dei dati e invece del 12% circa se questo avviene. Nel caso della tipologia abitativa 59, l'errore è inferiore all'11% e al 13% con e senza pulitura dei dati. Trattando la problematica degli effetti del pre-processo, appare abbastanza chiaro che se i dati del caso in oggetto sono sufficienti e relativamente accurati e corretti, la media della differenza tra il costo previsto e quello reale diminuisce, mentre la variazione del valore di stima si stabilizza in funzione del livello di pulitura dei dati. Quando, al contrario, i dati non risultano essere in numero sufficiente, questo si traduce in un rapporto quasi doppio fra la stima tradizionale condotta con metodologie di unità di costo (\$/GFA e \$/NH) e la tecnica di stima appena sviluppata. Per ciò che riguarda la possibilità di applicazione di questo studio ad altri casi, si è voluto testare il metodo su una tipologia edilizia totalmente differente. Come detto inizialmente si sono considerati in un secondo momento 74 progetti di caserme costruite tra il 2005 e il 2008. Tra di essi sono stati usati 66 campioni per la definizione dei parametri del modello e 8 casi di validazione. Si è valutata la capacità e l'applicabilità dell' SPBP su altre tipologie di costruzione. Le conclusioni alle quali si è arrivati sono quelle per le quali il modello aiuta a sviluppare stime accurate con dati sufficientemente completi a patto di adattarlo al contesto. Ovviamente deve essere adattato ogni volta ai casi presi in considerazione e alle condizioni locali; esso, infatti, è stato sviluppato per la situazione coreana e, quindi, potrebbe anche non essere "esportabile" ad altri paesi.

## **STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE**

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

## 3. METODO E STRUMENTI

### 3.1 METODO

Prima di spiegare in dettaglio tutti i passaggi impiegati per lo svolgimento di questa tesi, è opportuno soffermarsi sul metodo e sulle motivazioni che hanno portato alla sua elaborazione.

L'obiettivo posto è affrontare il tema dei costi parametrici da un punto di vista non più empirico, come in passato, ma impiegando strumenti e metodi matematici più rigorosi che portino all'individuazione di un algoritmo che rappresenti al meglio la tendenza dei costi dei progetti edili.

Il processo seguito prevede di partire da un numero limitato di progetti dei quali vanno portati alla luce i parametri di maggiore interesse, cioè quelli che meglio riescono a descrivere i progetti nei connotati di forma e tecnologia impiegata. Il procedimento non si avvale di computi metrici che permetterebbero di raggiungere livelli di precisione elevata nella selezione dei parametri; prevede, invece, che si utilizzino solo le caratteristiche geometriche e di forma più evidenti e facili da estrapolare dalle semplici carte di un progetto. Le caratteristiche tecnologiche o impiantistiche hanno rilevanza nella formulazione del costo di una costruzione, ma non vengono prese in considerazione se non nei costi totali. La peculiarità della procedura di calcolo studiata sono la velocità e l'immediatezza di reperibilità dei dati necessari, unitamente alla possibilità di raggiungere una previsione di costo il più possibile accurata.

Di rilievo è la fase di definizione e, in seguito, di individuazione dei parametri principali, quelli che hanno un maggior impatto e un legame matematico e logico più evidente con il costo reale dei progetti presi in esame.

Successivamente si passa alla scelta dello strumento matematico che meglio si adatta alle necessità della tesi. In questo caso si è scelto di utilizzare un sistema di regressioni lineari multiple. Dato l'esiguo numero di progetti a disposizione, questo strumento si adegua bene alle possibilità offerte dai dati in possesso. Grazie all'impiego di regressioni multiple, si sono ottenuti i coefficienti della curva di approssimazione dei costi; questi valori, a loro volta, sono stati presi come riferimento per un approccio probabilistico.

Questo approccio ha come scopo quello di simulare i valori dei coefficienti di regressione al fine di raggiungere non più un valore deterministico dei costi di progetto, ma una distribuzione di probabilità di costo. Attraverso le simulazioni con il metodo Montecarlo,

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

questo criterio permette, innanzitutto, di ampliare il numero dei valori individuati, dando una maggiore significatività allo studio. Inoltre, permette una maggiore elasticità di scelta fra tutti i costi previsti sulla distribuzione di probabilità; e, nell'evenienza, consente di estendere e migliorare i valori calcolati dei coefficienti di regressione per mezzo dei quali si definisce la probabilità di costo, perché l'algoritmo può essere reiterato un numero infinito di volte introducendo nuovi valori dei parametri di riferimento iniziali prodotti da nuove realizzazioni edili. Alternativamente, il metodo può prevedere, l'allargamento dei parametri iniziali con l'aggiunta di nuovi progetti, permettendo così un affinamento dei calcoli di previsione (da un punto di vista matematico questo è permesso, purché i "nuovi" dati inseriti non siano proporzionali ad altri già presenti; nel qual caso, i parametri ridondanti andrebbero eliminati).

La facilità dei valori di input dai quali il metodo prende avvio e l'immediatezza del dato ottenibile alla fine dell'algoritmo ha, inoltre, un altro vantaggio: permette un confronto immediato fra i costi reali, i costi previsti di carattere deterministico e quelli di natura probabilistica. Questo aspetto risulta essere un grosso vantaggio per l'uso di questo metodo, perché, data la complessità delle variabili che vanno ad influire sul costo di realizzazione di un progetto, tenuto conto delle varietà costruttive, tecniche e tecnologiche, fa sì che sia subito possibile individuare lo scostamento fra la previsione e la realtà; e di riconoscerne all'interno dell'algoritmo le cause con facilità. A seguito di tale confronto, sarà, dunque, possibile utilizzare dei coefficienti di ragguaglio che diano, in termini matematici, spiegazione di eventuali grossi scostamenti fra i costi reali e quelli previsti. Tali termini dovranno in parte essere definiti sulla base dell'esperienza dell'utilizzatore, perché richiedono la conoscenza tecnica che i numeri da soli non spiegano.

Di seguito è riportato un diagramma di flusso che sintetizza graficamente i passaggi principali del metodo appena descritto. Più sotto, poi, sono visibili i diagrammi di flusso che illustrano i due metodi, l'uno alternativo all'altro, di funzionamento migliorativo del metodo in esame. A tale proposito è bene illustrare i passaggi che portano ad un affinamento dei criteri di stima appena descritti. Il primo metodo (A) prevede che il data-set sia aumentato di uno o più progetti. In questo caso i parametri di riferimento rimangono inalterati, ma crescono i dati che li descrivono. In seguito ai calcoli previsti dalle regressioni multiple, i valori dei coefficienti di regressione risulteranno differenti rispetto a quelli iniziali, permettendo una presumibile maggior precisione della capacità predittiva del metodo.

Il secondo metodo (B) parte sempre dalla possibilità di accrescere il numero di progetti, ma questa volta a tale aumento corrisponderà l'inserimento di un nuovo parametro per ogni nuovo progetto inserito (infatti, per mantenere l'equazione matriciale di regressione determinata il numero dei parametri deve almeno essere pari al numero di progetti; qualora il primo fosse superiore al secondo risulterebbe indeterminata, con  $\infty^n$  soluzioni). Questo

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

secondo metodo permetterà, allora, l'introduzione di altri parametri di descrizione delle caratteristiche principali dei progetti, quali per esempio l'EPH (livello prestazione energetico).

Per quel che riguarda l'affinamento dei parametri e dei coefficienti di calcolo, va fatta un'ultima considerazione fondamentale. L'applicabilità del metodo proposto non può trascurare il fattore temporale: i dati di riferimento che vanno a comporre il data set dal quale si desumono i valori dei coefficienti di regressione devono forzatamente essere freschi. La loro obsolescenza renderebbe i risultati ottenuti alterati e inutilizzabili, questo perché i dati di costo di ogni progetto (che compongono il vettore dipendente nelle regressioni multiple) sono legati al periodo in cui la costruzione è stata messa in opera e ai costi di tecniche e tecnologie utilizzate in quel preciso periodo storico. Pertanto, il data-set deve essere costantemente aggiornato e rinnovato, introducendo nuovi progetti di riferimento ed eliminando quelli più vecchi.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



FIGURA 36: DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL FUNZIONAMENTO STANDARD DEL METODO



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

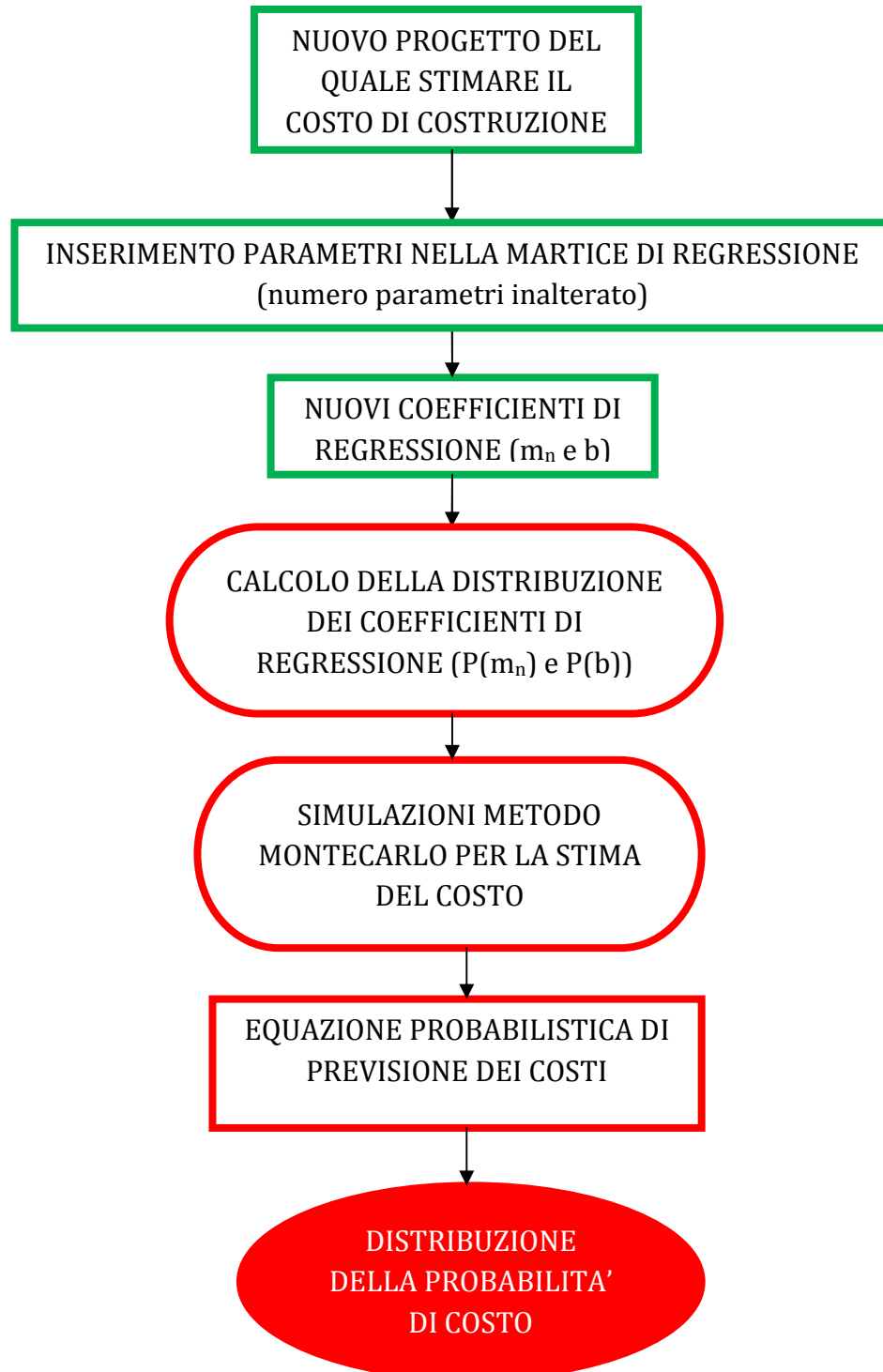


FIGURA 37: DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL FUNZIONAMENTO MIGLIORATIVO DEL METODO – AFFINAMENTO DEI PARAMETRI MEDIANTE AUMENTO DEL DATA-SET (METODO A)

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



FIGURA 38: DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL FUNZIONAMENTO MIGLIORATIVO DEL METODO – AUMENTO DEI PARAMETRI MEDIANTE AUMENTO DEL DATA-SET (METODO B)

### 3.2 STRUMENTI: LE REGRESSIONI LINEARI

#### 3.2.1 INSIEMI DI DATI BIVARIATI

Prima di partire con la trattazione del caso pratico svolto si vogliono dare alcuni cenni teorici sulle regressioni.

Talvolta si ha a che fare con insiemi di dati caratterizzati non da sequenze numeriche singole, ma da una coppia di numeri tra i quali esiste una qualche relazione. In tali situazioni, ogni coppia di dati viene considerata come un'osservazione singola e, definite le grandezze che la caratterizzano con  $x$  e  $y$ , la  $i$ -esima osservazione può essere scritta come  $(x_i; y_i)$ . Lo strumento con il quale si visualizzano dati bivariati (così è definito, infatti, l'insieme delle coppie che costituiscono il set-dati in esame) è il diagramma di dispersione, che rappresenta sul piano cartesiano con assi che riportano i valori delle grandezze  $x$  e  $y$  i punti che con coordinate che si riferiscono ai valori delle coppie. Questione di grande interesse quando si studiano campioni bivariati è se vi sia una correlazione tra i valori di  $x$  e  $y$  e quale possa essere il legame che le unisce. In altre parole ci si chiede: al variare di  $x$ , come varia  $y$ ? Per condurre questo tipo di studio è necessario introdurre delle grandezze tipiche della statistica che di seguito vengono definite.

#### 3.2.2 VARIANZA E DEVIAZIONE STANDARD CAMPIONARIE

Per capire quanto i dati di un campione di studio possano essere concentrati attorno ad un valore, o viceversa quanto possano essere dispersi rispetto ad un dato numero (tipicamente la media matematica dei valori stessi), si usa la *varianza campionaria* che si denota con la lettera  $s^2$  ed è pari alla quantità:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Assegnato sempre lo stesso campione di dati  $\{x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n\}$  si dice *deviazione standard campionaria* e si denota con la lettera  $s$  la seguente quantità

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

E' una grandezza che ha come unità di misura le stesse dei dati sperimentali.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

### 3.2.3 COEFFICIENTE DI CORRELAZIONE CAMPIONARIA

Dato un campione bivariato  $(x_i; y_i)$  con  $i = 1, 2, \dots, n$  e con  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  le medie campionarie e  $s_x$  e  $s_y$  le deviazioni standard campionarie solamente per i dati rispettivamente  $x$  e  $y$ , allora si chiama *coefficiente di correlazione campionaria* e si denota con la lettera  $r$  la quantità per la quale

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y}$$
$$= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Quando  $r > 0$  allora i dati sono correlati positivamente; al contrario, se  $r < 0$  allora i dati sono correlati negativamente. Questa grandezza statistica assume maggiore chiarezza se la si analizza in questa maniera. Quando un valore di  $x$  assume un valore molto alto rispetto alla media  $\bar{x}$  allora la differenza fra il valore e la media è alto; se lo stesso ragionamento ha valore per  $y$ , di conseguenza si ottiene che il prodotto

$$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

è maggiore di zero; altrimenti se uno dei due è negativo (quindi, se il valore  $x$  o di  $y$  è molto piccolo rispetto alla media) anche il prodotto risulterà negativo. Il primo caso è quello di correlazione positiva; il secondo di correlazione negativa. Il *coefficiente di correlazione* non fa altro che riprendere questo stesso modo di ragionare sui dati bivariati, normalizzandoli.

Di seguito sono riportate le proprietà del *coefficiente di correlazione campionaria*

$$-1 \leq r \leq 1$$

Se per opportune costanti  $a$  e  $b$  con  $b > 0$  sussiste la relazione lineare

$$y_i = a + bx_i \text{ per } \forall i = 1, 2, \dots, n$$

allora  $r = 1$

Se per opportune costanti  $a$  e  $b$  con  $b < 0$  sussiste la relazione lineare

$$y_i = a + bx_i \text{ per } \forall i = 1, 2, \dots, n$$

allora  $r = -1$

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Se  $r$  è il coefficiente di correlazione del campione  $(x_i; y_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  allora lo è anche per il campione  $(a+bx_i; c+dy_i)$ , purché le costanti  $b$  e  $d$  abbiano lo stesso segno

Quest'ultima proprietà in particolare significa che  $r$  non varia se a  $x$  e a  $y$  sommiamo algebricamente (o moltiplichiamo per) una stessa costante. Quindi  $r$  NON dipende dalle unità di misura scelte per i dati. In altre parole, se si sceglie di misurare la correlazione tra peso ed altezza di un gruppo di individui non cambia se si decide di misurare il peso in libbre, invece che in chilogrammi; o se la statura viene misurata in pollici, o in centimetri.

Il valore assoluto  $|r|$  è l'indice che misura la "forza" della correlazione. Quando  $|r| = 1$  vi è una relazione lineare perfetta e i punti del diagramma di dispersione stanno tutti su una retta. Se  $|r| = 0,8$  la correlazione è molto intensa, anche se i punti del grafico non sono più individuabili su una retta, anche se è individuabile una retta che passi vicina ad ognuno di essi (la *retta interpolante*). Quando  $|r| = 0,3$ , invece, è facile affermare che la relazione è molto debole.

Il segno di  $r$  indica, invece, la direzione della retta. E' positivo quando  $x$  e  $y$  tendono a crescere e diminuire parallelamente l'uno all'altro; viceversa, quando si ha che al crescere di una delle due grandezze, l'altra diminuisce in una maniera proporzionale.

E' bene riportare e ricordare sempre che trovare una correlazione tra due grandezze in uno studio di campione bivariato (o anche multivariato) non significa essere in grado di evidenziare in maniera esplicita il legame di causa - effetto che lega le due grandezze. In molti casi esso sarà, invece, implicito e dipendente da un terzo fattore legato ad entrambe le variabili.

### 3.2.4 SISTEMI DI STIMA E PARAMETRI DI REGRESSIONE

Molti problemi dell'ingegneria e della scienza hanno a che fare con la determinazione delle relazioni tra due o più insiemi di variabili. La conoscenza di queste relazioni ci consentirebbe di predire il rendimento per diversi valori di una certa funzione che varia in dipendenza di una seconda. Nelle situazioni più comuni si ha una variabile  $Y$ , detta *variabile di risposta*, e un certo numero di variabili  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , dette *variabili di ingresso*. Il modello suppone che la risposta vari in funzione degli ingressi; per questo  $Y$  è anche detta, come è facile capire, *variabile dipendente*, mentre invece le  $x_i$  sono le *variabili indipendenti*. La più semplice delle relazioni che possibile immaginare è quella lineare; essa si presenta quando per mezzo di opportune costanti  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_r$  vale l'equazione

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_r x_r$$

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Se la relazione che lega le variabili fosse questa sarebbe possibile, una volta scoperte le  $\beta_i$ , predire esattamente la risposta per qualunque combinazione delle variabili di ingresso. In pratica comunque questo livello di precisione non può essere raggiunto, e il massimo che si può aspettare è che l'equazione precedente sia valida, salvo per un *errore casuale*  $e$ . Con questo si intende dire che la "vera" relazione in concreto risulta poi essere

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_r x_r + e$$

dove  $e$  rappresenta l'errore casuale, che si suppone essere una variabile aleatoria di media nulla.

Questa equazione rappresenta un valore atteso ( $e$ , difatti, può essere anche scritto in maniera probabilistica in questa forma  $E(Y|\mathbf{x}) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_r x_r$ ) condizionato all'ingresso  $\mathbf{x}$ . Le costanti  $\beta_i$  sono dette *coefficienti di regressione* e vanno normalmente stimati da un campione di dati. Una equazione di regressione si dice *semplice* se  $r = 1$  e, quindi, vi è una sola variabile indipendente; negli altri casi si parla di *regressioni multiple*. Un modello lineare semplice prevede quindi una relazione lineare tra la risposta media e il valore di una singola variabile indipendente  $x$ . Pertanto, l'equazione di regressione diventa

$$Y = \alpha + \beta x + e$$

Si supponga adesso di osservare, per  $i = 1, 2, \dots, n$ , le risposte  $Y_i$ , corrispondenti a certi valori di ingresso  $x_i$  e di volerle usare per stimare  $\alpha$  e  $\beta$  in un modello di regressione lineare semplice. Se  $A$  e  $B$  sono gli *stimatori* cercati, allora  $A + Bx_i$  è lo stimatore della risposta corrispondente all'ingresso  $x_i$ . Poiché la risposta realmente ottenuta con quel livello di ingresso è  $Y_i$ , la quantità  $(Y_i - A - Bx_i)^2$  rappresenta il quadrato della differenza tra la predizione ed il valore osservato e, quindi, dovrebbe idealmente essere resa più piccola possibile. Viene, quindi, identificata con  $SS$  la somma dei quadrati degli scarti tra risposte stimate e reali

$$SS = \sum_{i=1}^n (Y_i - A - Bx_i)^2$$

Il metodo dei minimi quadrati consiste nello scegliere come stimatori di  $\alpha$  e  $\beta$  i valori di  $A$  e  $B$  che minimizzano  $SS$ . Per calcolarli si deve derivare  $SS$  rispetto ad  $A$  e  $B$ :

$$\frac{\partial SS}{\partial A} = -2 \sum_{i=1}^n (Y_i - A - Bx_i)$$

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

$$\frac{\partial SS}{\partial B} = -2 \sum_{i=1}^n x_i (Y_i - A - Bx_i)$$

Per cercare i punti critici della funzione  $SS$  (ed in particolare il minimo), occorre uguagliare a zero le due espressioni precedenti, ottenendo il sistema delle cosiddette *equazioni normali*:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (Y_i - A - Bx_i) = 0 \\ \sum_{i=1}^n x_i (Y_i - A - Bx_i) = 0 \end{cases}$$
$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n Y_i = nA + B \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i Y_i = A \sum_{i=1}^n x_i + B \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{cases}$$

Si pone che  $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_i Y_i$  e  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i$  la prima equazione normale diventa  $A = \bar{Y} - B\bar{x}$ ; e sostituendo questa formula al posto di  $A$  nella seconda si ottiene

$$\sum_i x_i Y_i = (\bar{Y} - B\bar{x})n\bar{x} + B \sum_i x_i^2$$

dalla quale si ricava che

$$B = \frac{\sum_i x_i Y_i - n\bar{x}\bar{Y}}{\sum_i x_i^2 - n\bar{x}^2}$$

Gli stimatori dei minimi quadrati di  $\alpha$  e  $\beta$  corrispondenti alle variabili  $x_i$  e  $Y_i$ , con  $i = 1, 2, \dots, n$  sono rispettivamente

$$A = \bar{Y} - B\bar{x}$$
$$B = \frac{\sum_i x_i Y_i - n\bar{x}\bar{Y}}{\sum_i x_i^2 - n\bar{x}^2}$$
$$= \frac{\sum_i (x_i - \bar{x}) Y_i}{\sum_i x_i^2 - n\bar{x}^2}$$

La retta  $y = A + Bx$  è la stima della *retta di regressione* che meglio interpola i dati.

### 3.3 METODO MONTECARLO: CENNI

Nel progettare un nuovo sistema, oppure nel tentativo di migliorarne uno esistente, l'ingegnere cerca di anticipare le realtà future di operazione di tale sistema al variare di alcune opzioni. Inevitabilmente, quando si produce qualsiasi tipo di previsione ci si riferisce più ad un modello che approssimi la realtà che alla realtà stessa.

Per definizione un modello non potrà mai descrivere la realtà in ogni dettaglio. Ci sarà sempre una certa "distanza" fra il primo e la seconda. Il modello si basa sulle informazioni note del sistema, sulle interazioni degli elementi, sull'interazione del sistema con l'ambiente e sui dati relativi alle proprietà delle componenti del sistema e su come variano all'interno dei range di possibilità loro disponibili. Una volta che si è definito il modello, ci si pongono le domande a proposito l'aspettativa della risposta che il sistema può dare in futuro; per esempio, ci si chiede quale possa essere il suo margine di errore. È la matematica che entra in gioco nel dare risposte a questo genere di domande, poiché i modelli che cercano di descrivere la realtà sono di natura matematica e la matematica riesce a definire quanto possano essere accurate le risposte offerte.

In questo ambito il metodo Montecarlo risulta essere uno strumento potente con un gran valore nell'analisi dei sistemi complessi, dovuto alla capacità di raggiungere un'approssimazione molto vicina alla realtà. In generale, può essere definito come una metodologia il cui obiettivo è quello di ottenere delle stime di soluzioni di problemi matematici attraverso la selezione di numeri casuali. Con i termini "numeri casuali" si intendono numeri ottenuti attraverso una macchina simile alla roulette dei casinò (da cui il nome "metodo Montecarlo", in riferimento ai tavoli da gioco della città monegasca). Il campionamento casuale di numeri è già stata utilizzata in passato, ben prima dello sviluppo dei computer di oggi. Il primo esempio di utilizzo del metodo che noi oggi denominiamo col nome di Montecarlo sembra essere del naturalista francese Buffon (1707 - 1788) che prese in esame un set di linee in parallelo ad una distanza  $D$  su un piano e calcolò la probabilità  $P$  che un segmento di lunghezza  $L < D$  casuale posizionato sullo stesso piano potesse intersecare una di queste linee. L'espressione teorica che ottenne fu la seguente:

$$P = \frac{L/D}{\pi/2}$$

La possibilità calcolata non convinse completamente per la concretezza del risultato, Buffon ebbe l'idea di provare concretamente l'espressione disegnando linee parallele e attraversandole ripetutamente con un ago sul pavimento della propria casa; in questa maniera riuscì a stimare la probabilità  $P$  come il rapporto del numero di intersezioni sul



numero totale di intersezioni e, pertanto, acquisendo l'onore di aver inventato il metodo Montecarlo. E' interessante notare come in seguito, Laplace notò che l'esperimento di Buffon rappresentava uno stratagemma per il calcolo del  $\pi$ . Successivamente altri scienziati utilizzarono questo metodo (o algoritmi molto simili) per risolvere integrali e problemi per il calcolo delle probabilità. Infine, il ritorno di interesse per questo sistema di calcolo può essere associato ad Enrico Fermi, von Neumann e Ulam durante lo sviluppo del Progetto Manhattan nel periodo della Seconda Guerra Mondiale.

Il Metodo Monte Carlo fa parte della famiglia dei metodi statistici non parametrici. È utile per superare i problemi computazionali legati ai test esatti. Il metodo è usato per trarre stime attraverso simulazioni. Si basa su un algoritmo che genera una serie di numeri tra loro incorrelati, che seguono la distribuzione di probabilità che si suppone abbia il fenomeno da indagare. La simulazione Monte Carlo calcola una serie di realizzazioni possibili del fenomeno in esame, con il peso proprio della probabilità di tale evenienza, cercando di esplorare in modo denso tutto lo spazio dei parametri del fenomeno. Una volta calcolato questo campione casuale, la simulazione esegue delle 'misure' delle grandezze di interesse su tale campione. La simulazione Monte Carlo è ben eseguita se il valore medio di queste misure sulle realizzazioni del sistema converge al valore vero. Un altro esempio particolare dell'utilizzo del Metodo Montecarlo è l'impiego del metodo nell'analisi scacchistica. Negli ultimi anni i più forti programmi scacchistici in commercio, implementano delle opzioni d'analisi che utilizzano "Montecarlo analisi". Per valutare una posizione, si fanno giocare al computer migliaia di partite partendo dalla posizione da analizzare, facendo eseguire al PC delle mosse casuali (una scelta casuale tra le mosse più logiche). La media dei risultati ottenuti in queste partite è un'indicazione plausibile della mossa migliore. Non c'è un solo metodo Monte Carlo; il termine descrive invece una classe di approcci molto utilizzati per una larga categoria di problemi. Tuttavia, questi approcci tendono a seguire un particolare schema:

1. Definire un dominio di possibili dati in input.
2. Generare input casuali dal dominio con una certa distribuzione di probabilità determinate.
3. Eseguire un calcolo deterministico utilizzando i dati in ingresso (input).
4. Aggregare i risultati dei calcoli singoli nel risultato finale.

Attualmente, il metodo Montecarlo sembra l'unico in grado di produrre soluzioni per problemi complessi di carattere multidimensionale. Per circa tre decenni fu usato quasi esclusivamente nella tecnologia nucleare. Presumibilmente, la principale ragione per questa scelta fu dovuta alla carenza di potenza di calcolo: infatti, il metodo richiede una grande memoria da parte delle macchine di calcolo. Con l'aumento della velocità dei computer l'applicazione del metodo è diventata più fattibile ogni giorno di più in diversi campi.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

La potenza di calcolo degli attuali computer permette utilizzi del metodo Montecarlo altrimenti inimmaginabili e difatti no adesso siamo in grado di risolvere sia problemi di natura deterministica (come la valutazione di spazi euclidei ad n dimensioni per forme complesse o per la soluzione di equazioni differenziali o integrali), oppure problemi stocastici (come quelli che possono essere descritti attraverso passaggi casuali in un ambiente naturalmente casuale, per esempio la stima delle distribuzione di neutroni, la stima di fattibilità di piani industriali, ecc.). In ogni caso, perché il metodo Montecarlo risulti efficiente, si deve dedicare particolare attenzione alle tecniche di variazione-riduzione, cioè quelle tecniche che permettono di ridurre le intrinseche incertezze statistiche che affliggono i risultati.

### 3.3.1 CAMPIONAMENTO DI NUMERI CASUALI DA UNA DISTRIBUZIONE DI PROBABILITÀ

#### NOTA

Sia  $X$  una variabili casuale ( $vc$ ) che segue una funzione di distribuzione cumulativa di probabilità ( $fdc$ )  $F_X(x)$  dove

$$Prob\{X \leq x\} = F_X(x)$$

con

$$F_X(-\infty) = 0 \text{ e } F_X(+\infty) = 1$$

ovvero la probabilità che la variabile casuale  $X$  sia minore o uguale ad un certo valore è definita dalla funzione di distribuzione di probabilità cumulativa. Pertanto, nel prosieguo, se la  $vc$  obbedisce alla  $fdc$ , si scriverà che

$$X \sim F_X(x)$$

Dalla definizione segue che  $F_X(x)$  non è una funzione decrescente e si potrà assumere inoltre che è continua e differenziabile. La corrispondente funzione di densità di probabilità ( $fdp$ ) è allora:

$$f_X(x) = \frac{dF_X(x)}{dx}$$

dove

$$f_X(x) \geq 0$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f_X(x) dx = 1$$

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Si desidera da qui in poi trovare uno o più algoritmi per il campionamento di numeri dalla funzione di distribuzione cumulativa  $F_X(x)$ . Questo equivale ad ottenere una sequenza di valori  $N \gg 1$   $\{X\} \equiv \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_N\}$  tali per cui:

- l' $n$ -esimo numero  $n$  di punti campionati all'interno di un intervallo  $\Delta x \ll X_{MAX} - X_{min}$  dove  $X_{min}$  e  $X_{MAX}$  sono i valori minimo e massimo nell'insieme  $\{X\}$ , tale per cui potrebbe essere descritto nella seguente maniera

$$\frac{n}{N} \approx \int_{\Delta x} f_X(x) dx$$

In altre parole è richiesto che l'istogramma dei dati campionati approssimi la funzione di densità di probabilità  $f_X(x)$ ;

- i valori  $X_i$  non devono essere fra loro correlati
- se la sequenza  $\{X\}$  è periodica, il periodo dopo il quale i numeri tornano a ripetersi dovrebbe essere il più ampia possibile.

Fra tutte le distribuzioni, quella uniforme nell'intervallo  $[0,1)$ , descritta come  $U[0,1)$ , o più semplicemente  $U(0,1)$ , svolge un ruolo di fondamentale importanza fino a quando tale distribuzione permette di ottenere valori casuali  $vc$  che obbediscano ad ogni altra distribuzione.

### 3.3.2 ESEMPI DI METODI DI GENERAZIONE DI NUMERI CASUALI PER IL METODO MONTECARLO

La generazione di numeri casuali  $R$  distribuiti uniformemente all'interno del campo  $[0,1)$  ha rappresentato e tuttora rappresenta un importante soggetto dell'attività di ricerca. All'inizio, gli esiti dei fenomeni casuali in maniera intrinseca erano usati, ma presto si arrivò a capire che, al di là da problemi di mancanza di uniformità dovuti ad imperfezione dei meccanismi di generazione o rilevamento, la frequenza dei dati così ottenuti era troppo bassa e le sequenze avrebbero potuto non essere riprodotte, cosicché era difficile trovare e correggere gli errori presenti nel linguaggio Montecarlo.

Per superare queste difficoltà, l'idea successiva fu quella di riempire delle tabelle di numeri casuali da memorizzare nei computer, ma l'accesso a memorie così grandi diminuiva la velocità di calcolo e, soprattutto, le sequenze che erano inserite in memoria erano comunque troppo brevi rispetto alle necessità crescenti.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Finalmente nel 1956 von Neumann propose che fossero direttamente i computer a generare i numeri casuali attraverso un appropriato mezzo: una funzione di calcolo  $g(\cdot)$  che avrebbe permesso di trovare il numero successivo  $R_{k+1}$  dal precedente  $R_k$ . Pertanto

$$R_{k+1} = g(R_k)$$

La sequenza così generata è inevitabilmente periodica: nel corso della sequenza, quando un numero ottenuto è già uscito precedentemente, la sottosequenza tra questi due numeri si ripete ciclicamente, cioè la sequenza introduce un "loop". Andando avanti la sequenza può riprodursi ancora cosicché essa non sia più definibile come casuale, ma piuttosto deterministica. Comunque, se la funzione  $g(\cdot)$  è scelta in maniera corretta, essa può essere definita come pseudo casuale purché soddisfi un numero di prove di casualità sufficienti. In particolare, von Neumann propose di ottenere  $R_{k+1}$  prendendo i caratteri centrali di un valore  $R_k$  elevato al quadrato.

Per esempio, per un computer che possa accettare numeri composti di quattro cifre, se  $R_k = 4.567$ , allora  $R_k^2 = 20.857.489$  e  $R_{k+1} = 8574$ ,  $R_{k+2} = 5134$  e così via. Questa funzione risulta essere troppo lunga da calcolare e dà origine a periodi troppo brevi. Inoltre, se un risultato ottenuto è  $R_k = 0000$  tutti i numeri conseguenti saranno sempre zeri.

Al giorno d'oggi i metodi più comuni per generare sequenze  $\{R\}$  di numeri da una distribuzione uniforme si ispirano al gioco della roulette. Nel gioco la pallina, lanciata inizialmente con un'alta velocità, compie alcuni ampi giri attorno alla ruota e alla fine cade all'interno di un compartimento numerato. In una roulette ideale nessuno potrebbe dubitare del fatto che il compartimento finale, o il numero ad esso associato, sia in verità un valore campionato fra tutti i possibili numeri presenti sulla roulette. Nel dominio dei numeri reali, in un intervallo fra 0 e 1  $[0,1)$ , il gioco potrebbe essere rappresentato da un modello di lancio di un punto sull'asse delle  $x$  che cada molto lontano dall'origine. La differenza tra il valore ottenuto in questo modo l'intero più prossimo e minore di questo valore può essere ragionevolmente assunto come il numero campionato da  $U[0,1)$ . Ovviamente l'assunzione di validità di questo metodo è vera se si utilizza un metodo adatto di "lancio" del punto. In un computer, la procedura appena descritta è ottenuta attraverso relazioni di congruenza del tipo

$$R_{k+1} = (a \cdot R_k + c) \bmod m$$

In altre parole, il nuovo numero  $R_{k+1}$  è il residuo con modulo  $m$  (positivo intero) di una trasformazione affine del vecchio  $R_k$ , mediante l'uso di coefficienti non negativi  $a$  e  $c$ . L'espressione sopra riportata in una certa maniera ripropone il metodo di campionamento uniforme del gioco della roulette, con  $(a \cdot R_k + c)$  che svolge il ruolo di distanza percorsa dalla

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

pallina e  $m$  la circonferenza della ruota. La sequenza di numeri che si ottiene è composta da un numero  $R_k < m$  e che è periodica con periodo  $p < m$ .

Per esempio se  $R_0 = a = c = 5$  e  $m=7$  la sequenza è  $\{5,2,1,3,6,0,5, \dots\}$  con un periodo  $p=6$ .

Le sequenze generate con questo metodo sono in verità deterministiche cosicché i numeri generati sono più propriamente denominati come pseudo casuali. Comunque, le costanti  $a, c, m$  possono essere scelte nella maniera per cui:

- la sequenza deve soddisfare essenzialmente tutte le prove di casualità
- il periodo  $p$  deve essere molto largo.

Chiaramente i numeri generati dalla procedura sopra descritta devono essere sempre più piccoli di  $m$  cosicché, una volta divisi per  $m$ , essi possano inserirsi nell'intervallo  $[0,1)$ .

Questo è una fra le molte applicazioni del metodo Montecarlo. Ne esistono tantissime e prevedono di poter risolvere differenti tipi di situazioni e offrono soluzioni a una varietà molto ampia di problemi. Il metodo Montecarlo permette di realizzare modellizzazione per sistemi complessi senza la necessità di adottare semplificazioni artificiali e irrealistiche, cosa alla quale inevitabilmente si va incontro quando si usano metodi analitici. Con il potenziamento delle possibilità di computer veloci, il metodo Montecarlo inizia ad essere sempre più potente e adattabile. Più le possibilità di ottenere soluzioni da modelli sempre più realistici aumentano, maggiori potranno essere i metodi prodotti su una grande varietà di problemi ingegneristici, raggiungendo soluzioni che possono fornire significativi miglioramenti nella realizzazione di sistemi complessi. Questo si rifletterà, come prevedibile, in un retrofit in termini di costi di produzione e di progettazione.

## **STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE**

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

### 4 APPLICAZIONE DEL METODO AL CASO DI STUDIO

Le regressioni lineari sono state condotte partendo da un set di dati abbastanza contenuto di nove progetti già realizzati dei quali si conoscono le caratteristiche fisico - geometriche e il costo totale di realizzazione finale. Di questi nove progetti se ne è usato sempre uno come termine di paragone, ovvero sono state realizzate delle regressioni lineari partendo dai dati dei primi otto, si è giunti ad una funzione lineare che, una volta inseriti i dati del nono, hanno permesso l'individuazione di un ipotetico prezzo da comparare con quello reale. In tal modo è stato possibile valutare la bontà dell'equazione lineare individuata in termini di capacità predittiva. Una volta fatto questo tenendo come riferimento un singolo progetto, lo si è ripetuto andando a ruotare l'edificio di paragone. Questo metodo ha permesso di avere una visione ancora più ampia della forza di stima del calcolo compiuto per mezzo di una regressione lineare.

E' bene dire che sono stati condotti due studi preventivi, in parallelo, sul medesimo data - set, ma con due approcci differenti: il primo ha previsto l'uso di alcuni parametri nelle loro forme base, mentre altri sono stati normalizzati rispetto ai primi, in maniera tale da poter essere descritti come percentuali oscillanti tra lo 0 e l'unità; il secondo, invece, non ha previsto alcuna normalizzazione di parametri, ma uno studio stepwise su due fasi. Nella prima parte i parametri sono stati via via scelti in maniera tale da poterli utilizzare in combinazioni ogni volta differenti fra loro in un numero minore a quello iniziale; nella seconda, invece, il numero di parametri considerati come set da cui partire è stato ridotto, accorpendo alcune voci con altre secondo alcuni criteri logici che saranno poi descritti in seguito. Il primo tipo di ragionamento è stato svolto solo in maniera teorica e concretamente non si è proseguita questa strada,

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

### 4.1 PROGETTO VILLE UBOLDO

Ville Uboldo				
Calcolo parametri di forma e superfici				
Descrizione		Sup. (m <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	
A	Area dell'intervento	2987,97	-	
Metri cubi urbanistici		-	2641,49	
Superficie coperta		479,86	-	
Superficie Drenante		907,11	-	
Superficie e materiale facciata		Materiale: SWISSPEARL	962,55	
Serramenti in facciata (DOPPI VETRI, TELAIO IN PVC)		70X115 cm	4,83	
		100x115 cm	6,90	
		70x220 cm	9,24	
		140x115 cm	19,32	
		77x225 cm	5,20	
		100x225 cm	13,50	
		270x220 cm	35,64	
		265x225 cm	35,78	
		Totale		130,40
Metri cubi reali		Interrato	-	
		fuori terra	-	
		Totale	-	
Vani scala		Privati interni	-	
		Comuni esterni	-	
		Totale	-	
Ascensori (m lineari)		NON PRESENTI		
Porticati-balconi-logge		Porticati	-	
		Balconi/terrazzi in copertura	-	
		Logge	-	
		Totale	-	
SUPERFICI COMMERCIALI+ SUPERFICI COMUNI = SUP. CONVENZIONALE				
Descrizione		Sup. (m <sup>2</sup> )	% abbattimen to	mq pondera ti
Appartamenti		779,79	1,00	779,79
balconi e terrazzi		0,00	0,33	0,00
Logge		59,79	0,50	29,90



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Porticati	59,66	0,33	19,69
Superficie esterna pavimentata privata	118,37	0,33	39,06
Superfici scale interne private	140,13	1,00	140,13
Sottotetti non abitabili	86,78	0,30	26,03
Mansarde agibili	147,72	0,80	118,18
Giardini privati	1260,69	0,10	126,07
Taverne	281,39	0,80	225,11
Box	0,00	0,50	0,00
Cantine	0,00	0,50	0,00
Box collegati direttamente all'appartamento	285,85	0,50	142,93
Locali comuni	0,00	0,50	0,00
	Tot. Sup commerciale		1646,88
Giardini comuni	0,00	0,10	0,00
Vialetto ingresso pedonale	136,05	0,15	20,41
Parcheggi	109,40	0,10	10,94
Strada di accesso	613,34	0,10	61,33
Rampa+corsello	636,86	0,40	254,74
Vani scala comuni	34,14	0,70	23,90
Corridoi cantine	0,00	0,50	0,00
Superfici bocche di lupo	140,08	0,20	28,02
Superficie interrata senza sopra piani fuori terra	1027,09	0,10	102,71
	Tot. Sup comune		502,05
	Tot. Sup commerciale		1646,88
	Tot. Sup convenzionale		2148,93
	Convenz/comm. - 1		0,30
n. Villette			6
n. box Tripli			5
n. box Doppi			1
n. piani interrati			1
n. piani fuori terra (l'ultimo mansardato)			3

TABELLA 20: DATI CARATTERISTICI VILLE UBOLDO

Il costo dell'opera è stato calcolato in 2560000 €. Si vuole, nell'immagine sottostante, riportare la veduta dell'edificio.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

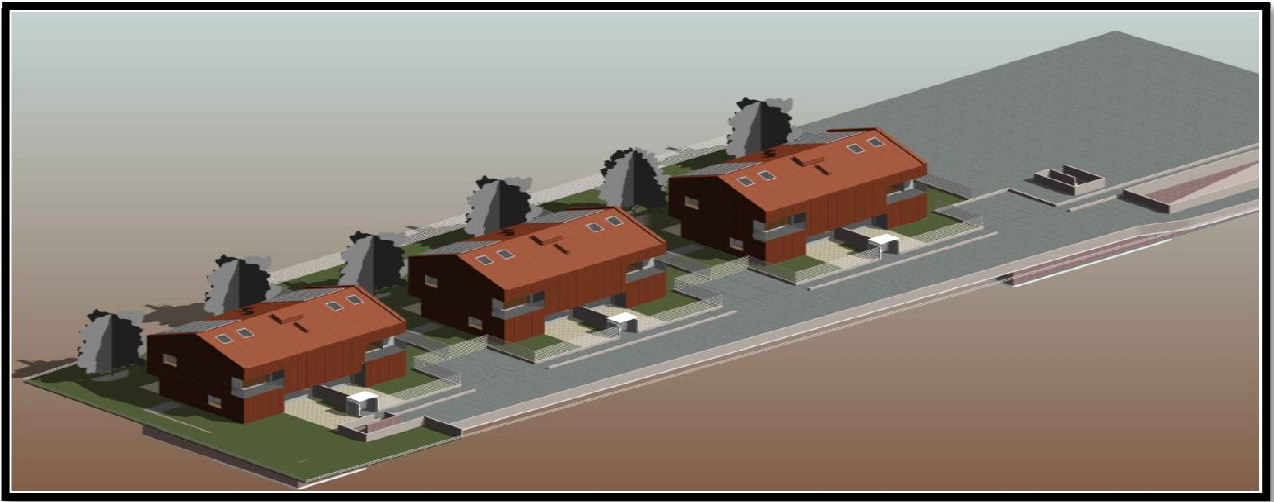


FIGURA 39 RENDERIZZAZIONE DEL PRGETTO DELLE VILLE AD UBOLDO

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

### 4.2 PROGETTO VILLA DON ORIONE

Villa Don Orione			
Calcolo parametri di forma e superfici			
Descrizione		Sup. (m <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )
B	Area dell'intervento	650,00	-
Metri cubi urbanistici		-	827,03
Superficie coperta		238,40	-
Superficie Drenante		0	-
Superficie e materiale facciata		Materiale: Geopietra	113,09
		Materiale: Cappotto+rasatura	233,15
		Totale	346,24
Serramenti in facciata (DOPPI VETRI, TELAIO IN LEGNO)		50x50 (N.9)	1,19
		170x70 (N.2)	2,38
		110x140 (N.2)	3,08
		70x230 (N.3)	4,83
		230x70 (N.2)	3,22
		140x140 (N.1)	1,96
		100x230 (N.5)	11,50
		120x230 (N.6)	16,56
		140x230 (N.1)	3,22
		160x230 (N.1)	3,68
		200x230 (N.1)	4,60
		270x220 (N.1)	5,94
		Totale	62,16
Metri cubi reali		Zona contro terra	-
		fuori terra	-
		Totale	-
Vani scala		Privati interni	-
Ascensori (m lineari)		NON PRESENTI	
Porticati-balconi		Porticati	-
		Balconi/terrazzi copertura	-

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

	Totale	-	441,19
<b>SUPERFICI COMMERCIALE = SUP. CONVENZIONALE (no spazi comuni)</b>			
	Descrizione	Sup. (m <sup>2</sup> )	% abbattimen to mq pondera ti
	Superficie abitabile	226,80	1,00 226,80
	balconi e terrazzi	87,90	0,33 29,01
	Porticati	46,50	0,33 15,35
	Superfici scale interne private	15,20	1,00 15,20
	Sottotetti non abitabili	27,70	0,30 8,31
	Mansarde agibili	72,60	0,70 50,82
	Giardino pensile su box	24,50	0,30 7,35
	Box	40,20	0,50 20,10
	Cantine	18,80	0,50 9,40
	Locale tecnico	17,20	0,50 8,60
	Strada di accesso	61,60	0,20 12,32
	Superfici bocche di lupo	38,30	0,20 7,66
		Tot. Sup commerciale 410,91	
	Superficie interrata senza sopra p. fuori terra	77,15	0,10 7,72
		Tot. Sup int.senza sopra p. fuori terra 7,72	
		Tot. Sup commerciale 410,91	
		Tot. Sup convenzionale 418,63	
		Convenz/comm. - 1 0,00	
<b>COMPOSIZIONE EDIFICIO</b>			
	n. Villette	1	
	n. box Doppi	1	
	n. piani fuori terra (l'ultimo mansardato)	3	

TABELLA 21: DATI CARATTERISTICI VILLA DON ORIONE

Il costo dell'opera è stato calcolato in 670000 €. Si vuole, nell'immagine sottostante, riportare la veduta dell'edificio.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

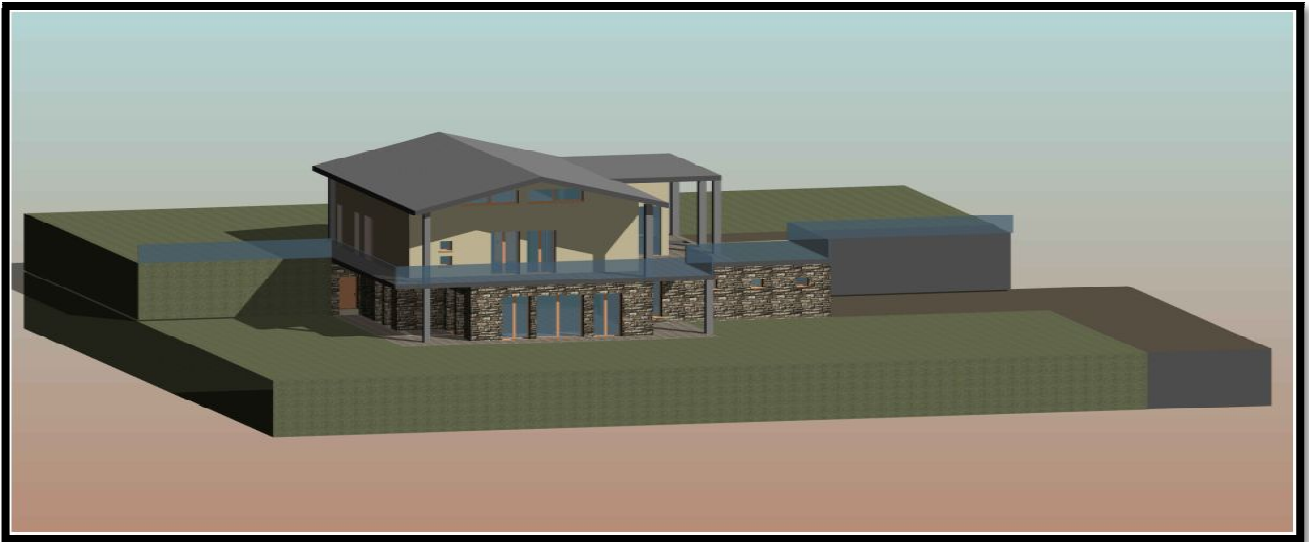


FIGURA 40 RENDERIZZAZIONE DEL PROGETTO DELLA VILLA DON ORIONE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

### 4.3 PROGETTO VALBRONA

Valbrona			
Calcolo parametri di forma e superfici			
Descrizione		Sup. (m <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )
C	Area dell'intervento	3647,13	-
Metri cubi urbanistici		-	4403,92
Superficie coperta		951,34	-
Superficie Drenante		1640,13	-
Superficie e materiale Facciata	riv. Intonaco su cappotto	1959,365	-
	riv. Legno di pino tinto noce		-
	Totale: Cappotto con rasatura+Legno di pino tinto noce	1500	-
Serramenti in facciata	50x220	7,7	-
	60x105	11,34	-
	60x130	28,08	-
	90x215	23,22	-
	90x237	51,192	-
	100x220	6,6	-
	120x105	5,04	-
	120x215	5,16	-
	120x130 T S5xA5xL5	18,72	-
	120x220	7,92	-
	150x215	3,225	-
	150x237	7,11	-
	180x215	19,35	-
	180x237 T S5xA5xL5	42,66	-
	284x220	37,488	-
		Totale: Doppi vetri - Telaio in legno	274,805
Metri cubi reali	Interrato	-	3697,6
	fuori terra	-	4914,37
	Totale	-	8611,97
Vani scala		-	1299,25
Ascensori (m lineari)		39	

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Porticati-balconi-logge	Porticati	-	204,85
	Balconi/terrazzi in copertura	-	73,83
	Logge	-	673,19
	Totale	-	951,87
<b>SUPERFICI COMMERCIALI+ SUPERFICI COMUNI = SUP. CONVENZIONALE</b>			
Descrizione	Sup. (m <sup>2</sup> )	% abbattimento	mq ponderati
Appartamenti	1420,47	100,00%	1420,47
balconi e terrazzi	25,47	33,00%	8,41
Logge	235,86	50,00%	117,93
Porticati	61,63	33,00%	20,34
Superficie esterna pavimentata privata	0	33,00%	0,00
Superfici scale esterne private	0	33,00%	0,00
Sottotetti abitabili	0	100,00%	0,00
Sottotetti non abitabili	0	30,00%	0,00
Giardini privati	420,93	10,00%	42,09
Taverne	51,71	80,00%	41,37
Box	480,14	50,00%	240,07
Cantine	107,55	50,00%	53,78
Box collegati direttamente all'appartamento	0	50,00%	0,00
Locali comuni	72,19	50,00%	36,10
	Tot. Sup commerciale		1980,54
Giardini comuni	1324	10,00%	132,40
Vialetto ingresso pedonale	478,1	15,00%	71,72
Parcheggi	56,15	10,00%	5,62
Strada di accesso	394,04	10,00%	39,40
Rampa+corsello	392,89	40,00%	157,16
Vani scala comuni	438,01	70,00%	306,61
Corridoi cantine	41,87	50,00%	20,94
Superfici bocche di lupo	33,18	20,00%	6,64
Superficie interrata senza sopra piani fuori terra	418,8	10,00%	41,88
	Tot. Sup comune		782,35
	Tot. Sup commerciale		1980,54
	Tot. Sup convenzionale		2762,89
	Convenz/comm. - 1		39,50%
n. appartamenti			18
n. Villette			3

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

n. box Singoli	12
n. box Doppi	4
n. piani interrati	1
n. piani fuori terra	3

TABELLA 22: DATI CARATTERISTICI VALBRONA

Il costo dell'opera è stato calcolato in 3000000 €. Si vuole, nell'immagine sottostante, riportare la veduta dell'edificio.



FIGURA 41 RENDERIZZAZIONE DEL PROGETTO A VALBRONA



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

### 4.4 PROGETTO SIGMA

Sigma				
Calcolo parametri di forma e superfici				
Descrizione		Sup. (m <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	
D	Area dell'intervento	1321,60	-	
Metri cubi urbanistici		-	9703,99	
Superficie coperta		632,90	-	
Superficie Drenante		142,20	-	
Superficie e materiale facciata	Materiale: Rivestimento Bugnato	950,00	-	
	Materiale: Intonaco + verniciatura silicati	3787,15	-	
	Totale	4737,15	-	
Serramenti in facciata (DOPPI VETRI, TELAIO IN LEGNO-ALLUMINIO)		1284,45	-	
Metri cubi reali	Interrato	-	5165,99	
	fuori terra	-	13836,25	
	Totale	-	19002,24	
Vani scala		-	2798,69	
Ascensori (m lineari)		76,26	-	
Porticati-balconi-logge	Porticati (Comuni al PT)	-	1889,49	
	Balconi/terrazzi in copertura	-	424,74	
	Logge	-	1244,00	
	Totale	-	3558,23	
<b>SUPERFICI COMMERCIALI+ SUPERFICI COMUNI = SUP. CONVENZIONALE</b>				
Descrizione		Sup. (m <sup>2</sup> )	% abbattiment o	mq ponderati
Appartamenti		2008,20	1,00	2008,20
balconi e terrazzi		122,20	0,33	40,33
Logge		374,70	0,50	187,35
Sottotetti agibili		371,90	0,80	297,52
Box		889,50	0,50	444,75

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Posti auto scoperti	81,70	0,30	24,51
Cantine	29,00	0,50	14,50
	Tot. Sup commerciale		3017,16
Giardini comuni	148,00	0,10	14,80
Pavimentazione esterna comune	109,70	0,15	16,46
Copertura piana parzialmente praticabile	186,50	0,10	18,65
Locali comuni	96,90	0,50	48,45
Zona pavimentata di accesso	163,40	0,10	16,34
Rampa+corsello	1075,30	0,40	430,12
Corsello PT	162,00	0,40	64,80
Porticati comuni	272,40	0,33	89,89
Vani scala comuni	729,70	0,70	510,79
Corridoi cantine	2,70	0,50	1,35
Superfici bocche di lupo	173,10	0,20	34,62
Superficie interrata senza sopra piani fuori terra	503,30	0,10	50,33
	Tot. Sup comune		1296,60
	Tot. Sup commerciale		3017,16
	Tot. Sup convenzionale		4313,75
	Convenz/comm. - 1		0,43
n. Appartamenti			30
n. box Singoli			30
n. box Doppi in linea			11
n. posti auto scoperti (PT)			5
n. piani interrati			2
n. piani fuori terra			6+sottotetti 0

TABELLA 23: DATI CARATTERISTICI SIGMA

Il costo dell'opera è stato calcolato in 6300000 €. Si vuole, nell'immagine sottostante, riportare la veduta dell'edificio.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---



FIGURA 42 RENDERIZZAZIONE DEL PROGETTO SIGMA

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

### 4.5 PROGETTO LA DUCALE

La Ducale (Cesate, via Piave)				
Calcolo parametri di forma e superfici				
Descrizione			Sup. (m <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )
E	Area dell'intervento	Area Urbanizzazioni	624,4	-
		Area intervento per imm.	3536,2	-
		Totale	4160,6	-
Metri cubi urbanistici			-	5485,4
Superficie coperta			1094,8	-
Superficie Drenante			1289,1	-
Superficie e materiale Facciata		Intonaco	1547,76	-
		mattoni faccia a vista	455,93	-
		Totale	2003,69	-
Serramenti in facciata in pino di Svezia tinto noce con doppi vetri	50x50	2	-	
	50X130	5,2	-	
	80x130	29,12	-	
	80x230	40,48	-	
	130x230	11,96	-	
	140x130	32,76	-	
	140x230	83,72	-	
	180x130	18,72	-	
	200x230	46	-	
	220x230	20,24	-	
	240x230	22,08	-	
		Totale	312,28	-
Metri cubi reali	Interrato		-	8515,89
	fuori terra		-	10207,94
	Totale		-	18723,83
Vani scala			-	1206,75
Ascensori (m lineari)			NON PRESENTI	
Porticati-balconi-logge	Porticati		-	463,72
	Balconi		-	195,4
	Logge		-	441,02

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

	Totale	-	1100,14
<b>SUPERFICI COMMERCIALI+ SUPERFICI COMUNI = SUP. CONVENZIONALE</b>			
Descrizione	Sup. (m <sup>2</sup> )	% abbattimento	mq ponderati
Appartamenti	1649,02	100,00%	1649,02
balconi	50,3	33,00%	16,60
Logge	153,44	50,00%	76,72
Porticati	144,92	33,00%	47,82
Superficie esterna pavimentata privata	307,38	33,00%	101,44
Superfici scale esterne private	26,72	33,00%	8,82
Sottotetti abitabili	-	100,00%	-
Mansarde	1058,52	80,00%	846,82
Giardini privati	1702,75	10,00%	170,28
Taverne	305,38	80,00%	244,30
Box	433,27	50,00%	216,64
Cantine	129,76	50,00%	64,88
Box collegati direttamente all'appartamento	257,14	50,00%	128,57
Locali comuni	61,89	50,00%	30,95
	Tot. Sup commerciale		3602,84
Giardini comuni	217,32	10,00%	21,73
Vialetto comune	192,96	15,00%	28,94
Parcheggi esterni	422,49	10,00%	42,25
Strada di accesso	218,4	10,00%	21,84
Rampa+corsello	658,85	40,00%	263,54
Vani scala comuni	304,48	70,00%	213,14
Corridoi cantine	15,6	50,00%	7,80
Superfici bocche di lupo	46,31	20,00%	9,26
Superficie interrata senza sopra piani fuori terra	1062,8	10,00%	106,28
	Tot. Sup comune		714,78
	Tot. Sup commerciale		3602,84
	Tot. Sup convenzionale		4317,62
	Convenz/comm. - 1		19,84%
n. appartamenti			24
n. Villette			2
n. box Singoli			13
n. box Doppi			12
n. piani interrati			1

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

n. piani fuori terra (di cui l'ultimo è mansardato)	3
---	---

TABELLA 24: DATI CARATTERISTICI LA DUCALE

Il costo dell'opera è stato calcolato in 3650000 €. Si vuole, nell'immagine sottostante, riportare la veduta dell'edificio.

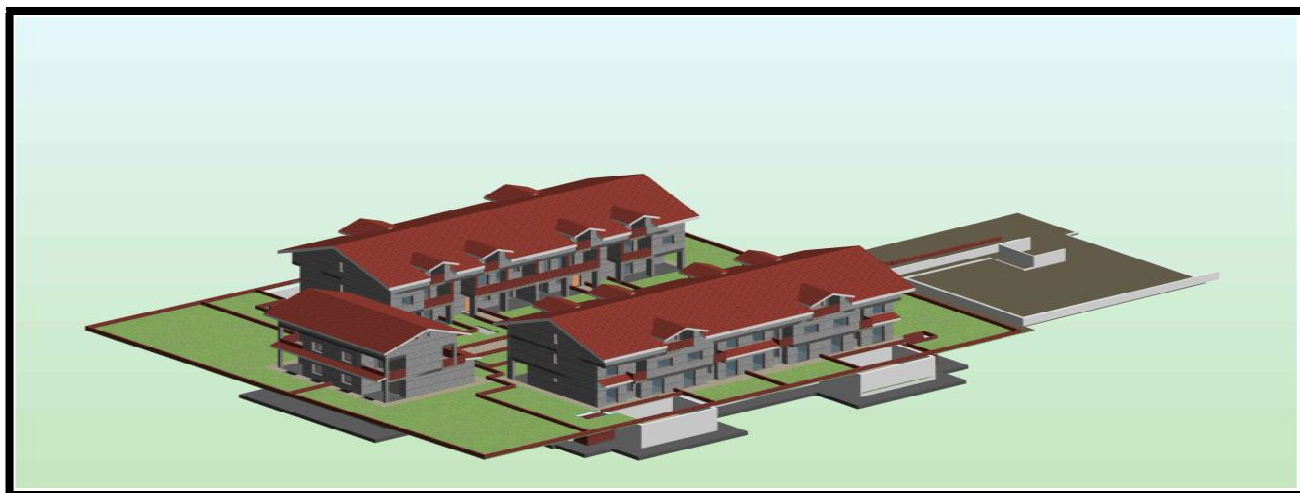


FIGURA 43 RENDERIZZAZIONE DEL PROGETTO LA DUCALE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

### 4.6 PROGETTO DELTA

Progetto Delta (Cesate)			
Calcolo parametri di forma e superfici			
Descrizione		Sup. (m <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )
F	Area dell'intervento	6492,3	-
Metri cubi urbanistici		-	14421,50315
Superficie coperta		2232	-
Superficie Drenante		2373,2	-
Superficie e materiale Facciata	Intonaco	3278,18	-
	Pietra	436,94	-
	Totale	3715,12	-
Serramenti in facciata	50x50 (legno)	1	-
	50x130 (legno)	3,9	-
	100x100 (legno)	20	-
	80x130 (legno)	33,28	-
	90x130 (legno)	9,36	-
	100x130 (legno)	20,8	-
	130x130 (legno)	13,52	-
	80x240 (legno)	30,72	-
	150x130 (legno)	31,2	-
	100x240 (legno)	67,2	-
	200x130 (legno)	62,4	-
	120x240 (legno)	46,08	-
	130x240 (legno)	43,68	-
	150x240 (legno)	122,4	-
	170x240 (legno)	16,32	-
	200x240 (legno)	19,2	-
	210x240 (legno)	60,48	-
	220x240 (legno)	42,24	-
250x240 (legno)	24	-	
	Totale	667,78	-
Metri cubi reali	Interrato	-	16003,71
	fuori terra	-	19187,90815
	Totale	-	35191,61815
Vani scala		-	3160
Ascensori (m lineari)		-	61,4

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Porticati-balconi-logge	Porticati	-	711,75
	Balconi	-	883,675
	Logge	-	531,7
	Totale	-	2127,125
SUPERFICI COMMERCIALI+ SUPERFICI COMUNI = SUP. CONVENZIONALE			
Descrizione	Sup. (m <sup>2</sup> )	% abbattimento	mq ponderati
Appartamenti	3791,8	100,00%	3791,80
balconi	271,9	33,00%	89,73
Logge	163,6	50,00%	81,80
Porticati	219	33,00%	72,27
Superficie esterna pavimentata privata	466,3	33,00%	153,88
Superfici scale esterne private	73,6	33,00%	24,29
Sottotetti abitabili	-	100,00%	-
Sottotetti non abitabili	-	30,00%	-
Giardini privati	3047,2	10,00%	304,72
Taverne	138,5	80,00%	110,80
Box	1465	50,00%	732,50
Cantine	346,4	50,00%	173,20
Box collegati direttamente all'appartamento	132,9	50,00%	66,45
Locali comuni	153,8	50,00%	76,90
	Tot. Sup commerciale		5678,33
Giardini comuni	-	10,00%	-
Vialetto comune	702,7	15,00%	105,41
Parcheggi esterni	-	10,00%	-
Strada di accesso	-	10,00%	-
Rampa+corsello	1454,6	40,00%	581,84
Vani scala comuni	908,5	70,00%	635,95
Corridoi cantine	86	50,00%	43,00
Superfici bocche di lupo	115,1	20,00%	23,02
Superficie interrata senza sopra piani fuori terra	2013,9	10,00%	201,39
	Tot. Sup comune		1590,61
	Tot. Sup commerciale		5678,33
	Tot. Sup convenzionale		7268,94
	Convenz/comm. - 1		28,01%
n. appartamenti			52
n. Villette			4
n. box			75



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

n. piani interrati	1
n. piani fuori terra	3

TABELLA 25: DATI CARATTERISTICI DELTA

Il costo dell'opera è stato calcolato in 7700000 €. Si vuole, nell'immagine sottostante, riportare la veduta dell'edificio.

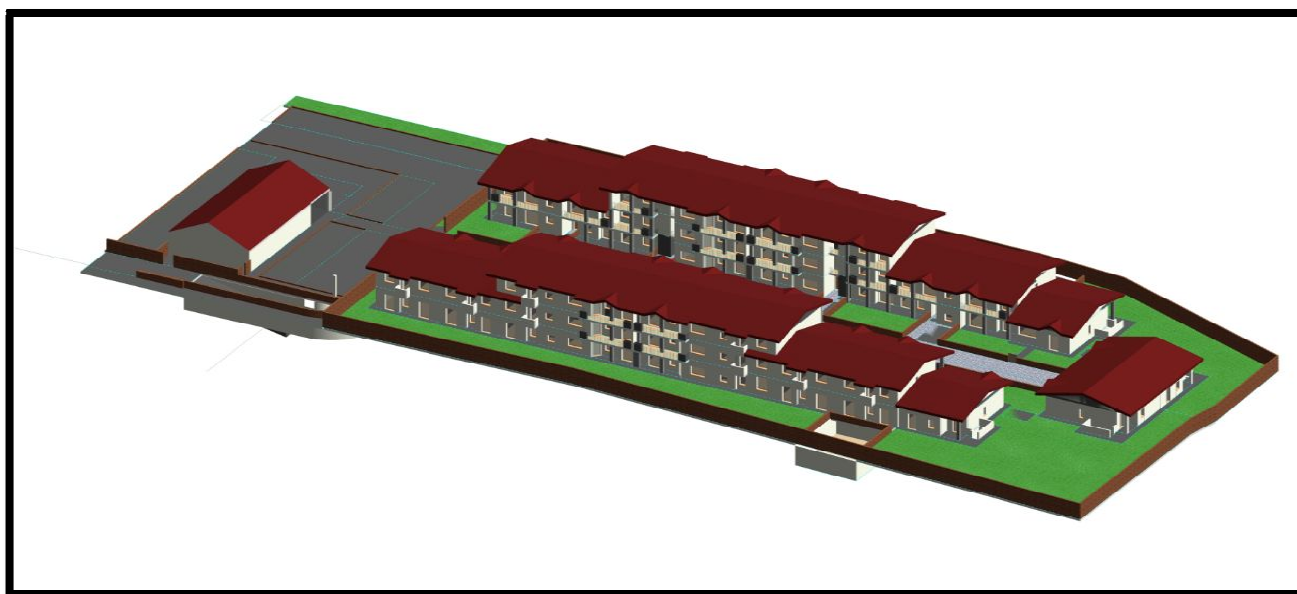


FIGURA 44 RENDERIZZAZIONE DEL PROGETTO DELTA

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

### 4.7 PROGETTO CASALINA

Casalina				
Calcolo parametri di forma e superfici				
Descrizione		Sup. (m <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	
G	Area dell'intervento	5620,6	-	
Metri cubi urbanistici		-	6396,64	
Superficie coperta		1040,4	-	
Superficie Drenante		2264,3	-	
Superficie e materiale facciata		Materiale: Cappotto+rasatura 2347,2	-	
Serramenti in facciata (DOPPI VETRI, TELAIO IN LEGNO)		Totale 371,51	-	
Metri cubi reali		Interrato	- 4183,19	
		fuori terra	- 8712,02	
		Totale	- 12895,21	
Vani scala	Totale	936,34	-	
Ascensori (m lineari)		44,90	-	
Porticati-balconi-logge		Porticati	- 855,97	
		Balconi/terrazzi in copertura	- 777,74	
		Logge	- 0,00	
		Totale	- 1633,71	
<b>SUPERFICI COMMERCIALI+ SUPERFICI COMUNI = SUP. CONVENZIONALE</b>				
Descrizione		Sup. (m <sup>2</sup> )	% abbattimen to	mq ponderat i
Appartamenti		1855,6	1,00	1855,60
balconi e terrazzi		228,50	0,33	75,41
Porticati		272,80	0,33	90,02
Sottotetti non abitabili		39,00	0,30	11,70
Sottotetti agibili		212,90	0,80	170,32
Giardini privati		1686,1	0,10	168,61

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Box	533,80	0,50	266,90
Posti auto	110,70	0,35	38,75
Cantine	53,30	0,50	26,65
Locali comuni	4,60	0,50	2,30
	Tot. Sup commerciale		2706,25
Giardini comuni	1601,5	0,10	160,15
Vialetto ingresso pedonale	207,20	0,15	31,08
Parcheggi	275,80	0,10	27,58
Strada di accesso	818,90	0,10	81,89
Rampa+corsello	637,40	0,40	254,96
Vani scala comuni	256,60	0,70	179,62
Corridoi cantine	15,20	0,50	7,60
Superfici bocche di lupo	51,70	0,20	10,34
Superficie interrata senza sopra piani fuori terra	1224,2	0,10	122,43
	Tot. Sup comune		875,65
	Tot. Sup commerciale		2706,25
	Tot. Sup convenzionale		3581,90
	Convenz/comm. - 1		0,32
n. Appartamenti			22
n. box Singoli			10
n. box Doppi			11
n. posti auto coperti (interrato)			7
n. piani interrati			1
n. piani fuori terra			3 + torretta

TABELLA 26: DATI CARATTERISTICI CASALINA

Il costo dell'opera è stato calcolato in 4400000 €. Si vuole, nell'immagine sottostante, riportare la veduta dell'edificio.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

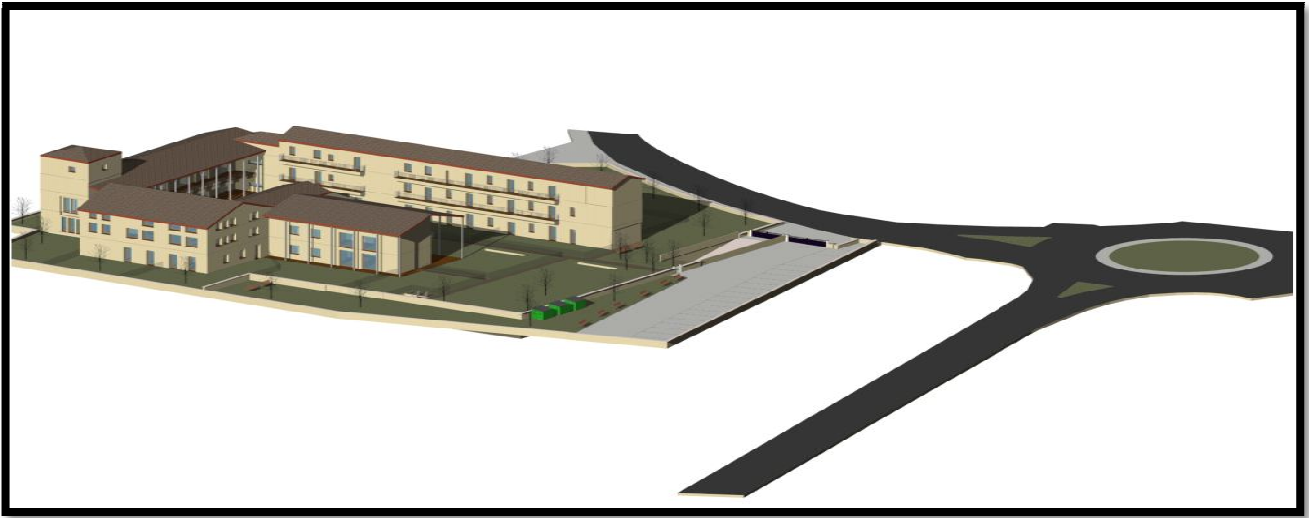


FIGURA 45 RENDERIZZAZIONE DEL PROGETTO CASALINA

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

### 4.8 PROGETTO BELVEDERE

Belvedere				
Calcolo parametri di forma e superfici				
Descrizione		Sup. (m <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	
H	Area dell'intervento	5133,30	-	
Metri cubi urbanistici		-	15720,56	
Superficie coperta		1888,90	-	
Superficie Drenante		1225,50	-	
Superficie e materiale facciata	Materiale: Cappotto+rasatura	7721,14	-	
Serramenti in facciata	Tipologia: Alluminio	1299,00	-	
Metri cubi reali	Interrato	-	28154,12	
	fuori terra	-	24868,69	
	Totale	-	53022,81	
Vani scala	Totale		5622,55	
Ascensori (m lineari) (n.7)		158,87	-	
Porticati-balconi-logge	Porticati		2468,39	
	Balconi/terrazzi in copertura		2104,87	
	Logge		2014,52	
	Totale	-	6587,78	
<b>SUPERFICI COMMERCIALI+ SUPERFICI COMUNI = SUP. CONVENZIONALE</b>				
Descrizione		Sup. (m <sup>2</sup> )	% abbattimento	mq ponderati
Appartamenti		4618,10	1,00	4618,10
balconi e terrazzi		800,30	0,33	264,10
Porticati		107,00	0,33	35,31
Logge		511,40	0,50	255,70
Sottotetti abitabili		366,40	1,00	366,40
Sottotetti agibili		504,40	0,80	403,52
Fioriere ai piani 3°-sottotetto		77,90	0,10	7,79
Giardini privati		1904,50	0,10	190,45
Box		2943,10	0,50	1471,55
Cantine		311,80	0,50	155,90

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

	Tot. Sup commerciale		7903,55
Giardini comuni	405,10	0,10	40,51
Giardini pensili/fioriere comuni	210,10	0,10	21,01
Vialetto ingresso pedonale	180,20	0,15	27,03
Parcheggi	636,70	0,10	63,67
Strada di accesso	659,00	0,10	65,90
Locale moto	38,60	0,35	13,51
Locali comuni	226,50	0,50	113,25
Locale custode	67,30	0,50	33,65
Rampa+corsello	3260,30	0,40	1304,12
Vani scala comuni	1536,10	0,70	1075,27
Corridoi cantine	125,30	0,50	62,65
Superfici bocche di lupo/grate aerazione	93,70	0,20	18,74
Superficie interrata senza sopra piani fuori terra	1792,30	0,10	179,23
	Tot. Sup comune		3018,54
	Tot. Sup commerciale		7903,55
	Tot. Sup convenzionale		10754,18
	Convenz/comm. - 1		0,36
n. Appartamenti			48
n. box Singoli			100
n. box Doppi in linea			22
n. box Doppi affiancati			4
n. piani interrati			2
n. piani fuori terra			5

TABELLA 27: DATI CARATTERISTICI BELVEDERE

Il costo dell'opera è stato calcolato in 15000000 €. Si vuole, nell'immagine sottostante, riportare la veduta dell'edificio.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



FIGURA 46 RENDERIZZAZIONE DEL PROGETTO BELVEDERE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

### 4.9 PROGETTO BRIVIO

Brivio				
Calcolo parametri di forma e superfici				
Descrizione		Sup. (m <sup>2</sup> )		Vol. (m <sup>3</sup> )
I	Area dell'intervento	Edificio A	3418,65	-
		Edificio B	1097,69	
		<b>Totale</b>	<b>4516,34</b>	
Metri cubi urbanistici	Edificio A	-	8636,48	
	Edificio B	-	2220,62	
	<b>Totale</b>	-	<b>10857,10</b>	
Superficie coperta	Edificio A	1002,49	-	
	Edificio B	360,09	-	
	<b>Totale</b>	<b>1362,58</b>	-	
Superficie Drenante	Edificio A	342,70	-	
	Edificio B	259,30	-	
	<b>Totale</b>	<b>602,00</b>	-	
Superficie e materiale facciata	Edificio A	Intonaco+rasat.	3169,73	-
		Pietra	349,69	-
		<b>Totale</b>	<b>3519,42</b>	-
	Edificio B	Intonaco+rasat.	1207,26	-
		Pietra	140,72	-
		<b>Totale</b>	<b>1347,98</b>	-
	<b>Totale Intonaco+rasatura</b>		<b>4376,99</b>	-
	<b>Totale Pietra</b>		<b>490,41</b>	-
	<b>Totale</b>		<b>4867,40</b>	-
Serramenti in facciata	Edificio A	Tipo: Telaio in legno - Doppi vetri	785,52	-
	Edificio B	Tipo: Telaio in legno - Doppi vetri	199,48	-
	<b>Totale</b>		<b>985,00</b>	-
Metri cubi reali	Edificio A	Interrato	-	9199,70
		Fuori terra	-	12500,92
		<b>Totale</b>	-	<b>21700,62</b>
	Edificio B	Interrato	-	2435,89
		Fuori terra	-	3302,27
		<b>Totale</b>	-	<b>5738,16</b>



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

	Totale Interrato		-	11635,59
	Totale fuori terra		-	15803,19
	Totale		-	27438,78
Vani scala comuni (aperti)	Edificio A		-	1564,14
	Edificio B		-	380,95
	Totale		-	1945,09
Ascensori (m lineari)	Edificio A		19,00	-
	Edificio B		16,10	-
	Totale		35,10	-
Porticati-balconi-logge	Edificio A	Porticati	-	952,25
		Balconi	-	744,41
		Balconi sottotetto	-	1012,95
		Logge	-	842,07
	Edificio B	Porticati	-	124,55
		Balconi	-	272,36
		Balconi sottotetto	-	367,78
		Logge	-	251,89
	Totale Porticati		-	1076,80
	Totale Balconi		-	1016,77
	Totale balconi sottotetto		-	1380,73
	Totale Logge		-	1093,96
	Totale		-	4568,26
<b>SUPERFICI COMMERCIALI+ SUPERFICI COMUNI = SUP. CONVENZIONALE</b>				
Descrizione	Edificio	Sup. (m <sup>2</sup> )	% abbattimento	mq ponderati
Appartamenti	A	2817,40	100,00%	2817,40
balconi e terrazzi	A	740,00	33,00%	244,20
Logge	A	124,90	50,00%	62,45
Porticati	A	305,10	33,00%	100,68
Sottotetti agibili	A	433,80	80,00%	347,04
Giardini privati	A	884,00	10,00%	88,40
Box	A	1182,30	50,00%	591,15
Cantine	A	161,40	50,00%	80,70
Locali comuni	A	58,80	50,00%	29,40
		Tot. Sup commerciale		4361,42
Appartamenti	B	741,40	100,00%	741,40

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

balconi e terrazzi	B	229,60	33,00%	75,77
Logge	B	43,70	50,00%	21,85
Porticati	B	33,20	33,00%	10,96
Sottotetti agibili	B	140,20	80,00%	112,16
Giardini privati	B	476,80	10,00%	47,68
Box	B	259,90	50,00%	129,95
Cantine	B	23,20	50,00%	11,60
Locali comuni	B	41,20	50,00%	20,60
		Tot. Sup commerciale		1171,96
Giardini comuni	A	156,80	10,00%	15,68
Vialetto ingresso pedonale	A	226,30	15,00%	33,95
Parcheggi	A	584,40	10,00%	58,44
Strada di accesso	A	494,00	10,00%	49,40
Rampa+corsello	A	734,50	40,00%	293,80
Vani scala comuni esterni	A	388,30	70,00%	271,81
Corridoi cantine	A	62,80	50,00%	31,40
Superfici bocche di lupo	A	134,50	20,00%	26,90
Superficie interrata senza sopra piani fuori terra	A	1310,80	10,00%	131,08
		Tot. Sup comune		912,46
Giardini comuni	B	61,30	10,00%	6,13
Vialetto ingresso pedonale	B	70,70	15,00%	10,61
Parcheggi	B	0,00	10,00%	0,00
Strada di accesso	B	67,50	10,00%	6,75
Rampa+corsello	B	336,90	40,00%	134,76
Vani scala comuni esterni	B	101,80	70,00%	71,26
Corridoi cantine	B	6,50	50,00%	3,25
Superfici bocche di lupo	B	12,30	20,00%	2,46
Superficie interrata senza sopra piani fuori terra	B	321,10	10,00%	32,11
		Tot. Sup comune		267,33
<b>RIEPILOGO</b>				
		Edificio A	Tot. Sup commerciale	4361,42
			Tot. Sup comune	912,46
			Tot. Sup convenzionale	5273,88
			Convenz/comm. - 1	0,21
		Edificio B	Tot. Sup commerciale	1171,96
			Tot. Sup comune	267,33

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

		Tot. Sup convenzionale	1439,29
		Convenz/comm. - 1	0,23
	Totale	Tot. Sup commerciale	5533,39
		Tot. Sup comune	1179,78
		Tot. Sup convenzionale	6713,17
		Convenz/comm. - 1	0,21
Edificio A			
n. Appartamenti			34
n. box singoli			17
n. box Doppi in lunghezza			20
n. box Doppi in larghezza			1
n. piani interrati			1
n. piani fuori terra			5
Edificio B			
n. Appartamenti			9
n. box singoli			6
n. box Doppi in lunghezza			0
n. box Doppi in larghezza			3
n. piani interrati			1
n. piani fuori terra			4

TABELLA 28: DATI CARATTERISTICI BRIVIO

Il costo dell'opera è stato calcolato in 9800000 €. Si vuole, nell'immagine sottostante, riportare la veduta dell'edificio.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

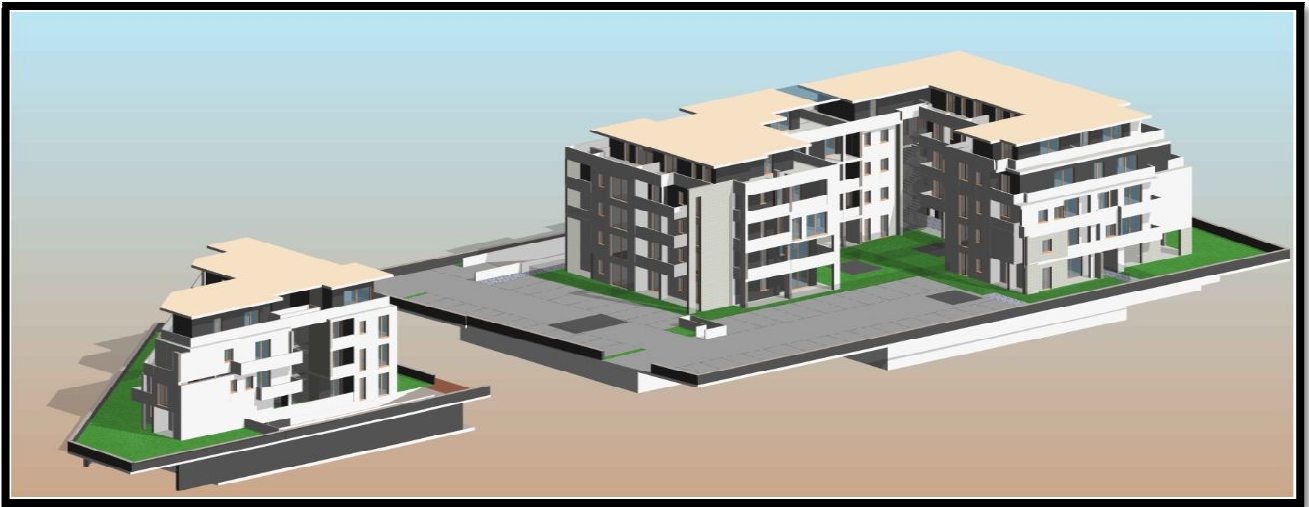


FIGURA 47 RENDERIZZAZIONE DEL PROGETTO BRIVIO

### 4.10 INDIVIDUAZIONE DEI PARAMETRI

Primo passo fondamentale per la stesura di questo progetto, è stato quello riguardante la scelta dei parametri da utilizzare come dati di input da inserire nel modello matematico.

La scelta dei parametri è stata alquanto restrittiva poiché un numero troppo esiguo di parametri non avrebbe consentito di giungere a dei risultati soddisfacenti, così come un numero troppo elevato avrebbe rischiato di contaminare i valori di output.

Per prima cosa i parametri sono stati suddivisi in macrocategorie, che a loro volta sono state divise all'occorrenza in sottocategorie; le macrocategorie necessarie sono le seguenti:

- A) **CONSISTENZE:** rappresentano i valori che si deducono dall'analisi delle superfici, dei volumi e della distribuzione degli spazi all'interno e all'esterno dell'edificio considerato.
- B) **GEOMETRICHE - TIPOLOGICHE:** si deducono dall'analisi della forma, della tipologia e della tecnologia usata per le unità tecnologiche e gli elementi tecnici costituenti l'edificio in questione.
- C) **PRESTAZIONI:** si ricavano dall'analisi delle prestazioni termiche e acustiche delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici costituenti l'edificio in questione. Per il calcolo delle termotrasmittanze ci si è rifatti alla Norma UNI 8290; per il calcolo delle prestazioni acustiche ci si è rifatti alla Norma UNI 11367.
- D) **TIPOLOGIA IMPIANTO:** si individuano dall'analisi dettagliata degli impianti di riscaldamento invernale, produzione dell'acqua calda sanitaria e eventualmente produzione di energia elettrica attraverso fonti rinnovabili. La normalizzazione di codesti parametri è stata fatta utilizzando il software Cened.
- E) **LAYOUT DI CANTIERE:** rappresentano i parametri che si deducono dall'analisi della morfologia, della localizzazione, delle tempistiche del cantiere attinente l'edificio considerato.
- F) **ASPETTI GEOLOGICI E GEOTECNICI:** si desumono dall'analisi della morfologia, delle prestazioni e delle caratteristiche del terreno sottostante l'edificio considerato.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Ogni macrofamiglia sopra presentata, è stata scorporata in sottocategorie. Nella tabella qui di seguito riportata si vedono chiaramente le distinzioni e le voci per assegnare i parametri.

A	CONSISTENZE	A1 Indici urbanistici	A1.1 Superficie del Lotto
			A1.2 Superficie coperta
			A1.3 Superficie Drenante
			A1.4 Superficie Lorda di Pavimento
			A1.5 Altezza di Fabbricazione
			A1.6 Numero di Piani fuoriterra
			A1.7 Numero di Piani interrati
			A1.8 Altezza di Piano
		A2 Superfici commerciali	A2.1 Superfici appartamenti + logge, porticati e balconi
			A2.2 Superfici giardini privati
			A2.3 Superfici box
			A2.4 Superfici cantine
		A3 Superfici comuni	A3.1 Superfici corselli box
			A3.2 Superfici pianerottoli
			A3.3 Superfici spazi interni comuni
			A3.4 Superfici spazi esterni comuni
		A4 Superficie convenzionale	A4.1 Superfici commerciali+ superfici comuni
		A5 Superfici involucro	A5.1 Superfici verticali opache
			A5.2 Superfici verticali vetrate
			A5.3 Superfici orizzontali opache
			A5.4 Superfici orizzontali vetrate
			A5.5 Copertura
		A6 Volumi	A6.1 Urbanistici
			A6.2 Fuoriterra
			A6.3 Vani scala
			A6.4 Comuni
			A6.5 Privati
			A6.6 Sottotetti non Abitabili
A7 Distribuzione spazi	A7.1 n° appartamenti		
	A7.2 n° vani scala		
	A7.3 n° ascensori		
	A7.4 superficie spazi privati a cielo aperto		
	A7.5 n° box		
	A7.6 n° cantine		
	A7.7 n° spazi sottotetti (solaio)		

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

B	GEOMETRICHE-TIPOLOGICHE	B1 Forma	B1.1 Altezza Edificio
			B1.2 Lunghezza Edificio
			B1.3 Profondità Edificio
			B1.4 Altezza Parte Interrata
			B1.5 Lunghezza Parte interrata
			B1.6 Profondità Parte Interrata
			B1.7 Altezza Parte Fuori terra
			B1.8 Lunghezza Parte Fuori terra
			B1.9 Profondità Parte Fuori terra
			B1.10 Tipologia
	B2 Tipo copertura	B2.1 Tipologia	
	B3 Tecnologia strutture	B3.1 Tipologia	
	B4 Tamponamento opaco	B4.1 Tecnologia costruttiva	
	B5 Tamponamento trasparente	B5.1 Tipologia	
C	PRESTAZIONI	C1 Termostrasmittanza chiusura verticale	C1.1 Pareti perimetrali verticali
			C1.2 Infissi esterni verticali
		C2 Termostrasmittanza chiusura orizzontale inferiore	C2.1 Solai a terra
			C2.2 Infissi orizzontali
		C3 Termostrasmittanza chiusura orizzontale su spazi esterni	C3.1 Solai su spazi aperti
		C4 Termotrasmittanza chiusura superiore	C4.1 Copertura
			C4.2 Infissi esterni orizzontali
		C5 Classificazione acustica	C5.1 Isolamento acustico normalizzato di facciata ( $D_{2m,nT,w}$ dB)
	C5.2 Potere fonoisolante apparente di partizioni verticali e orizzontali fra ambienti di differenti unità immobiliari ( $R'_w$ dB)		

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

D	TIPOLOGIA IMPIANTO(CENED)	D1 Impianto di riscaldamento	D1.1 Tipologia generatore di calore
			D1.2 Combustibile utilizzato dal generatore
			D1.3 Tipo di scambio pompa di calore
		D2 Sistema di emissione	D2.1 Tipologia terminali di erogazione
			D2.2 Tipo di funzionamento
		D3 Sistema di regolazione	D3.1 Tipologia
		D4 Sistema di distribuzione	D4.1 Tipo di impianto
			D4.2 Tipo di distribuzione
		D4 Fonti rinnovabili	D4.1 Tipologia
			D4.2 Tipo di celle
	D4.3 Superficie captante		
	D5 Produzione acqua calda sanitaria	D5.1 Tipologia impianto	
		D5.2 Combustibile utilizzato dall'impianto	
E	LAYOUT DI CANTIERE	E1 Forma del lotto	E1.1 Descrizione
		E2 Localizzazione	E2.1 Vicinanza ad altri edifici
			E2.2 Localizzazione urbanistica
			E2.3 Accessibilità
			E2.4 Distanza cave
			E2.5 Distanza fornitori cls/ strutture
		E3 Superfici	E3.1 Stoccaggio e lavorazione
			E3.2 Di manovra mezzi
			E3.3 Zona logistica
		E4 Allacciamenti	E4.1 Elettricità
	E4.2 Acqua		
	E4.3 Fognatura		
E5 Tempistica	E5.3 Vincoli e obblighi temporali		
	E5.2 Condizioni meteorologiche		
F	ASPETTI GEOLOGICHE GEOTECNICI	F1 Terreno	F1.1 Tipologia del terreno
			F1.2 Resistenza del terreno ( $\sigma$ )
			F1.3 Angolo di natural declivio( $\alpha$ )
		F2 Falda	F2.1 Altezza falda

TABELLA 29: PARAMETRI - 1° FASE



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Di seguito sono precisate alcune voci che ad una prima lettura potrebbero dare adito ad incomprensioni:

- **superficie coperta:** è l'area risultante dalla proiezione su un piano orizzontale delle parti fuori terra di un fabbricato. Solitamente si escludono i balconi aperti, i cornicioni e le gronde di sporgenza normale. Le esclusioni sono indicate nel Regolamento Edilizio.
- **superficie drenante:** è la superficie di terreno non avente al di sotto alcun volume costruito
- **superficie appartamenti:** è la somma delle superfici di tutti gli appartamenti, al netto delle murature, comprensiva delle superfici di eventuali balconi/terrazzi, logge e porticati privati.
- **superfici spazi interni comuni:** è la somma di tutte le superfici interne comuni comprensive di superfici dei locali tecnici, corridoi, pianerottoli, corridoi cantine, vani scala comuni, sottotetti agibili..
- **superfici esterne comuni:** è la somma di tutte le superfici esterne comuni comprensive di superfici di giardini comuni, vialetti di ingresso, parcheggi comuni e eventuali vani scala esterni comuni.
- **superfici spazi privati a cielo aperto a verde:** è la somma di tutte le superfici comprensive di giardini privati esterni e superfici esterne pavimentate private.
- **altezza di piano:** è la misura da intradosso a intradosso dei singoli piani.

### 4.11 SELEZIONE DEI PARAMETRI

Giunti a questo punto dello studio si è passati ad un'ulteriore fase di selezione dei parametri. Questo passaggio è stato fatto per poter rendere il data - set iniziale uno strumento gestibile di facile utilizzo. E' evidente che avere un numero troppo elevato di voci da inserire in una formula matematica facile e veloce da interpretare (o, nell'evenienza, da modificare) non è una strada percorribile, per quanto lo strumento informatico possa permetterlo. Perciò sono state scartate alcune voci:

- *voci non reperibili*: i progetti che sono stati cortesemente offerti dalla Rigamonti S.p.a., non sono stati tutti realizzati; per questo e per motivi di riservatezza dell'azienda, molte voci di quelle presentate in *Tab.10*. non sono state fornite. Occorre dire che sono state eliminate da subito le macrofamiglie: C - prestazioni; E - layout dei cantieri; F - geologiche, poiché le informazioni che si riferiscono ad esse non sono state presentate, seppur potessero essere di grande interesse. Per ovviare a questo problema si è cercato di trovare una soluzione pedestre che verrà presentata nelle pagine a venire.
- *voci poco influenti sul prezzo*: alcune voci fra quelle presentate in *Tab 10*. rappresentano valori che non sono in alcun modo influenti sul costo totale: per esempio, l'altezza di piano è fra queste, perché tutti i progetti presentano un'altezza di piano standard, compresa tra i 3 metri e i 3,15 metri.
- *voci fra loro linearmente dipendenti*: questi elementi non possono essere inseriti nelle regressioni lineari poiché creano un problema di ridondanza che va da inficiare i calcoli. E' inoltre intuitivo che è superfluo riportare più di una volta un'informazione già contenuta in altre voci; esempio di questo è la voce che prende in considerazione il numero di box, già contenuta all'interno di quella che descrive la loro superficie.

In questo modo si è giunti ai 24 parametri rappresentati nella tabella sottostante:

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

	A1.1	A1.2	A1.3	A1.6	A1.7	A1.8	A2.1	A2.2	A2.3	A2.4	A3.1	A3.3	A6.7	Costi (€)
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	n	n	m	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	
VILLE UBOLDO	2988	480	907	3	1	3	899	1261	286	0	637	121	4307	2560000
VILLA DON ORIONE	650	238	0	3	0	3	361	25	40	19	0	0	-	670000
VALBRONA	3647	951	1640	3	1	3	1743	421	480	108	393	552	3698	3000000
SIGMA	1322	633	142	6	2	3	2505	0	890	29	1075	1363	5166	6300000
DELTA-CESATE	6492	2232	2373	3	1	3	4446	3047	1465	346	1455	1148	16004	7700000
CASALINA	5621	1040	2264	3	1	3	2357	1686	534	53	637	489	4183	4400000
BELVEDERE-MARIANO COMENSE	5133	1889	1226	5	2	3	6037	1905	2943	312	3260	2392	28154	15000000
BRIVIO-MARIANO COMENSE	4516	1363	602	5	1	3	5035	1361	1442	185	1071	743	11636	9800000
LA DUCALE-CESATE	4161	1095	1289	3	1	3	1998	1703	433	130	659	382	8516	3650000

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

	A3.4	A5.1	A5.2	A5.4	A6.1	A6.2	A6.3	A6.5	A6.6	A7.1	A7.4	A7.5	Costi (€)
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	n	m <sup>2</sup>	n	
VILLE UBOLDO	245	963	111	19	2641	3616	530	2842	87	6	1379	6	2560000
VILLA DON ORIONE	0	346	62	0	827	1241	73	862	28	1	25	1	670000
VALBRONA	1858	0	275	0	4404	4914	1299	4671	0	21	483	16	3000000
SIGMA	775	4737	1284	0	9704	13836	2799	9459	0	21	82	41	6300000
DELTA-CESATE	703	3715	668	0	14422	19188	3160	13188	0	56	3047	75	7700000
CASALINA	2195	2347	372	0	6397	8712	936	6701	39	22	1686	21	4400000
BELVEDERE-MARIANO COMENSE	2968	7721	1299	0	15721	24868	5623	19030	0	48	1905	126	15000000
BRIVIO-MARIANO COMENSE	1590	4867	985	0	10857	15803	1945	13381	0	43	1361	47	9800000
LA DUCALE-CESATE	1439	2004	312	0	5485	10208	1207	636	0	26	2010	25	3650000

TABELLA 30: PARAMETRI - 2° FASE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Il passaggio successivo è stato quello di procedere con un'ulteriore e più rigorosa selezione dei parametri presenti in *Tab. 12* eliminando quelli ritenuti di impatto minore sul costo totale degli edifici. Fra di essi, per citare un esempio, è stato individuata l'altezza di piano.

Questa ulteriore selezione è stata svolta provando ad inserire i termini presenti nella tabella precedente per calcolare delle regressioni lineari. Il risultato di questa operazione è stato quello di mettere in evidenza l'inefficacia di alcuni valori rispetto al calcolo del costo totale.

In base a ciò, oltre all'altezza di piano, sono stati eliminati i parametri di:

- *superficie drenante*: non va ad influire sui costi, poiché è tutta quella superficie di terreno che non viene in alcun modo utilizzata e sulla quale non viene in alcun modo costruito
- *numero di piani*
- *superfici orizzontali vetrate*: i progetti non presentano alcun valore di superfici orizzontali vetrate
- *sottotetti non abitabili*: come per i valori di superfici orizzontali vetrate, anche questi sono pressoché nulli o limitati

Da questa terza scrematura si è ottenuta la tabella sotto riportata.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

	A1.1	A1.2	A2.1	A2.2	A2.3	A2.4	A3.3	A3.4	A7.4	A5.1	A5.2	A6.2	A6.7	A7.1	Costi (€)
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	n	
VILLE UBOLDO	2987,97	479,87	899,24	1260,69	922,71	0,00	120,92	245,45	1379,06	962,55	111,08	3615,83	4307,29	6,00	2560000,00
VILLA DON ORIONE	650,00	238,40	361,20	24,50	40,20	18,80	0,00	0,00	24,50	346,24	62,16	1240,58	0	1,00	670000,00
VALBRONA	3647,13	951,34	1743,43	420,93	873,03	107,55	552,07	1858,25	482,56	0,00	274,81	4914,37	3697,60	21,00	3000000,00
SIGMA	1321,60	632,90	2505,10	0,00	1964,80	29,00	1363,20	775,20	81,70	4737,15	1284,45	13836,25	5165,99	21,00	6300000,00
DELTA-CESATE	6492,30	2232,00	4446,30	3047,20	2919,60	346,40	1148,30	702,70	3047,20	3715,12	667,78	19187,90	16003,71	56,00	7700000,00
CASALINA	5620,61	1040,40	2356,90	1686,10	1171,20	53,30	489,30	2195,20	1686,10	2347,20	371,51	8712,02	4183,19	22,00	4400000,00
BELVEDERE-MARIANO COMENSE	5133,30	1888,90	6036,80	1904,50	6203,40	311,80	2392,30	2968,20	1904,50	7721,14	1299,00	24868,00	28154,12	48,00	15000000,00
BRIVIO-MARIANO COMENSE	4516,34	1362,58	5035,30	1360,80	2513,60	184,60	743,30	1589,60	1360,80	4867,40	985,00	15803,19	11635,59	43,00	9800000,00
LA DUCALE-CESATE	4160,60	1094,80	1997,68	1702,75	1092,12	129,76	381,97	1438,51	2010,13	2003,69	312,28	10207,94	8515,89	26,00	3650000,00

TABELLA 31: PARAMETRI - 3°FASE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

In seguito a questo passaggio, ci si rende conto che, facendo alcune regressioni lineari, il loro numero rimane sempre troppo elevato e i valori predetti di costo calcolati con le regressioni, sono ancora distanti da quelli reali.

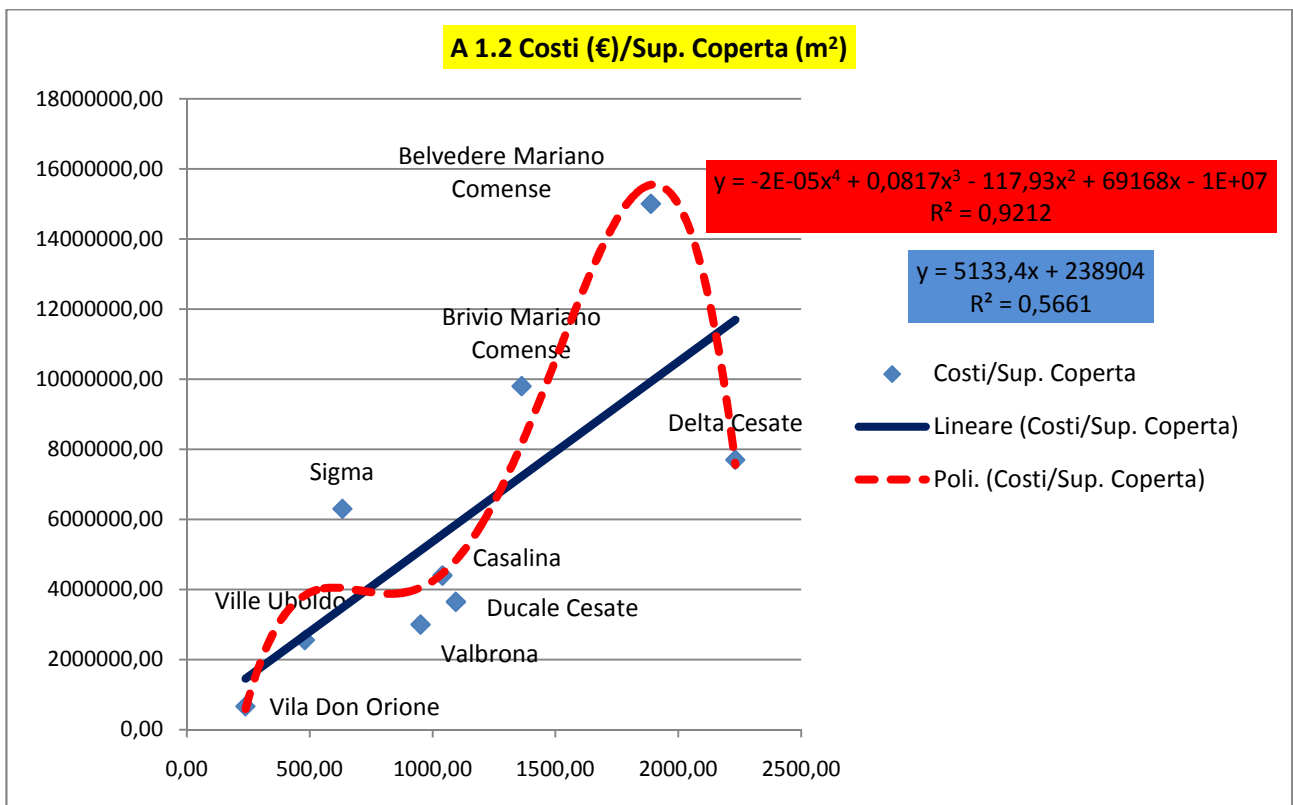
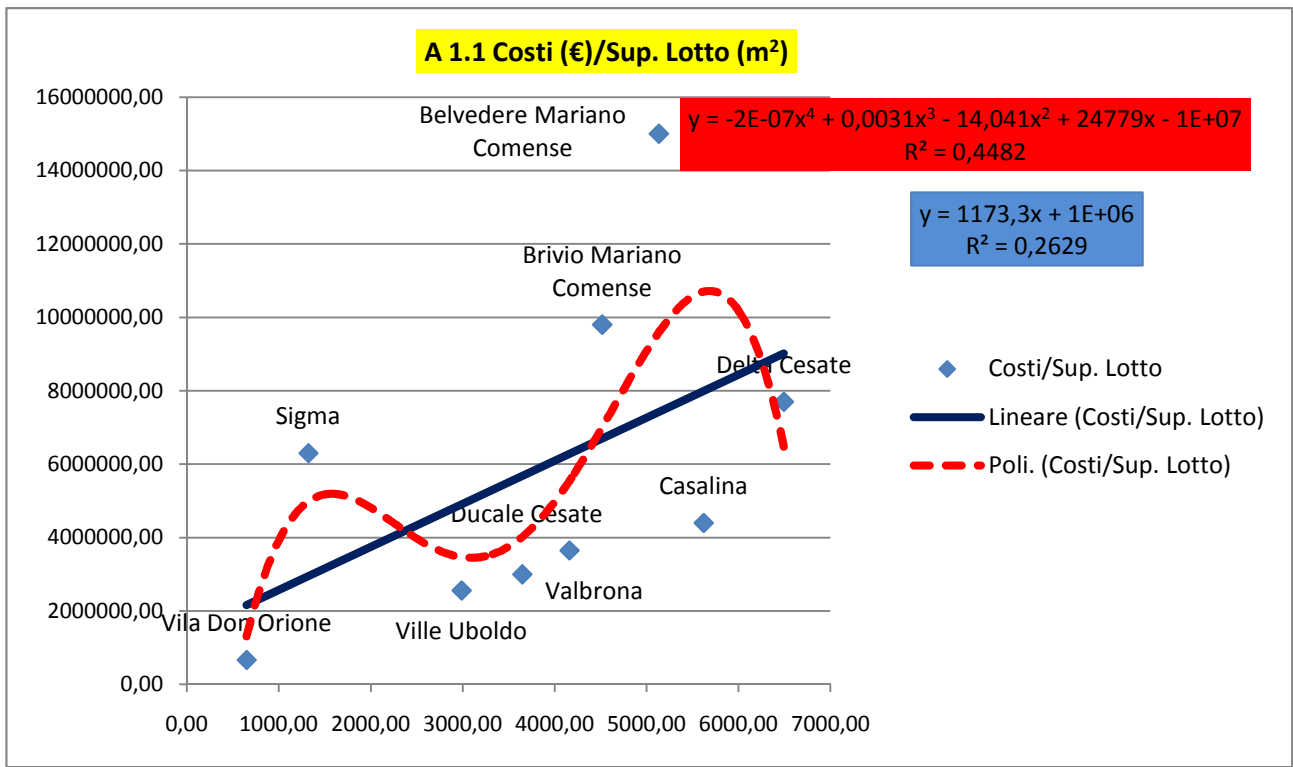
Per ottenere previsioni di costo il più possibile vicine al vero occorre avere un numero di variabili indipendenti (i parametri) pari alle variabili dipendenti (i costi reali). Un numero sproporzionato dei primi rispetto ai secondi fa sì che il risultato dei calcoli di regressione sia indeterminato. In termini matematici, se il numero di incognite è superiore al numero di equazioni, il risultato che si ottiene è indeterminato.

Per assottigliare ulteriormente il novero dei parametri si è svolta una cernita dei termini da mantenere e che devono andare a formare il paniere dei parametri da inserire nei calcoli di previsione dei costi. Questa ulteriore selezione non è stata svolta solamente sulla base di considerazioni intuitive o per mezzo dell'esperienza, ma si è ricorso anche stavolta all'uso di strumenti matematici che potessero definire in maniera rigorosa quanto espresso. Pertanto, i parametri della *Tab. 12* sono stati messi in relazione con i rispettivi costi reali all'interno di un grafico di dispersione. Si sono ottenuti, dunque, 13 grafici e per ognuno di essi sono state calcolate le regressioni lineari che approssimano le coppie dei dati in esame (costo/parametro). Il valore di scostamento "medio" del singolo dato rispetto alla retta di approssimazione è l' " $R^2$ ". Questo è stato il riferimento attraverso il quale è stata condotta la scelta dei parametri più significativi: tanto più la regressione lineare è in grado di approssimare i dati inseriti, tanto più vicino ad 1 sarà il valore dell'  $R^2$ . Se è uguale a 1, significa che esiste una correlazione perfetta nel campione, cioè non sussiste alcuna differenza tra il valore stimato e il valore effettivo della coppia di dati. Se, al contrario, il coefficiente di determinazione è uguale a 0, l'equazione di regressione non sarà di alcun aiuto nella previsione.

Dallo studio svolto su ognuno dei tredici parametri presentati in *Tab.13*, si sono ottenuti i grafici sotto riportati.

# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

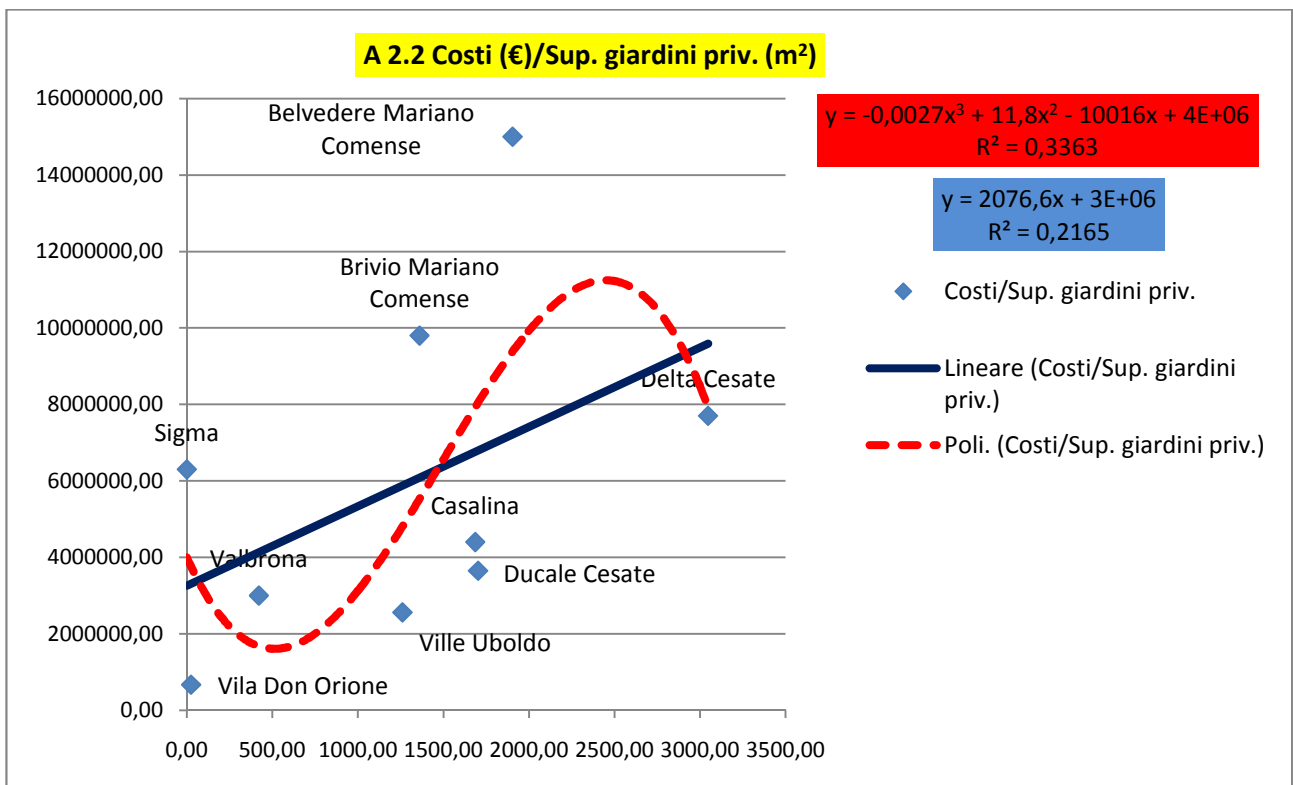
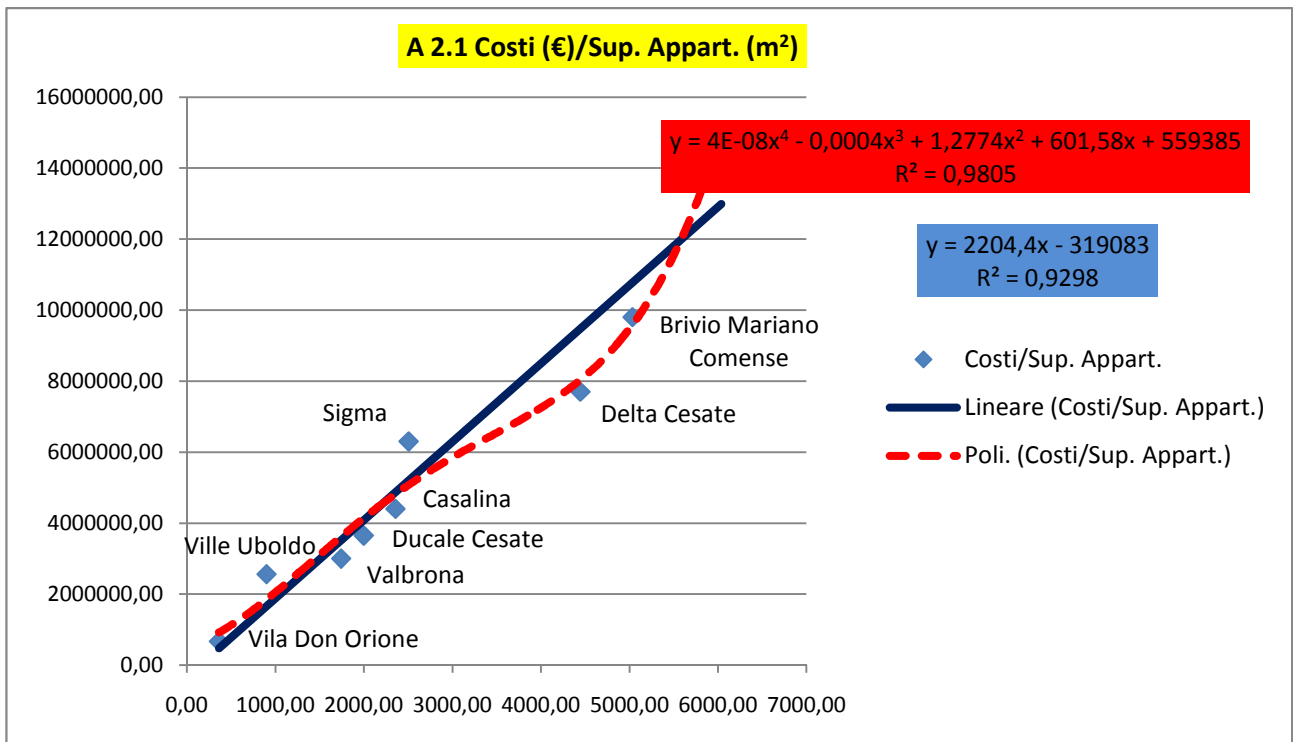
Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari





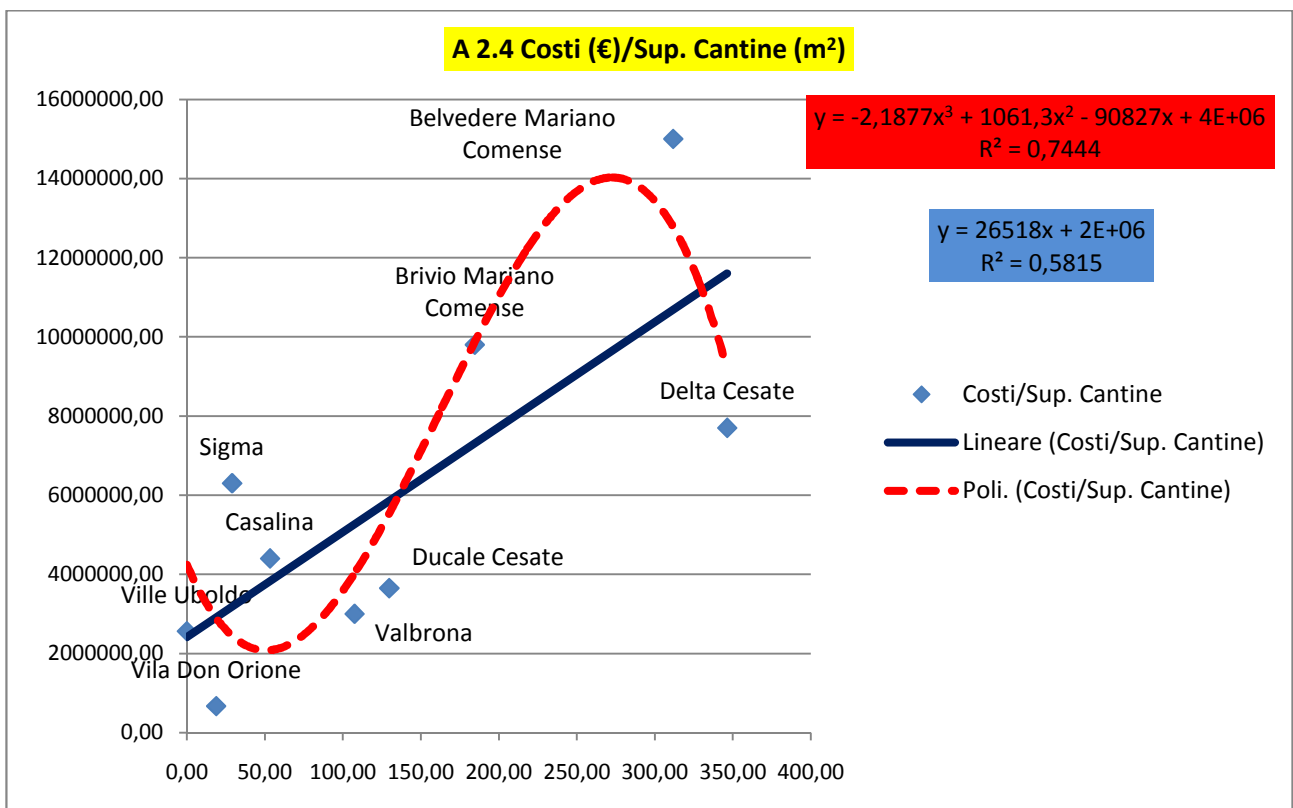
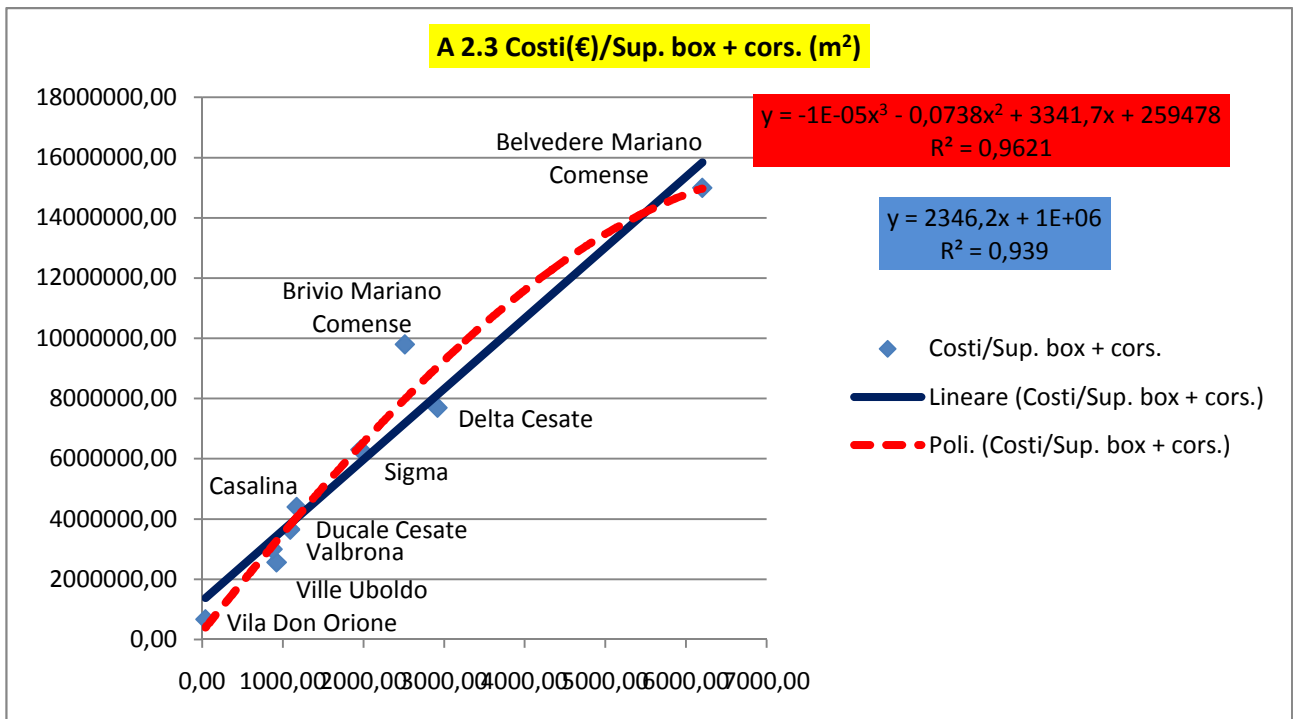
# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



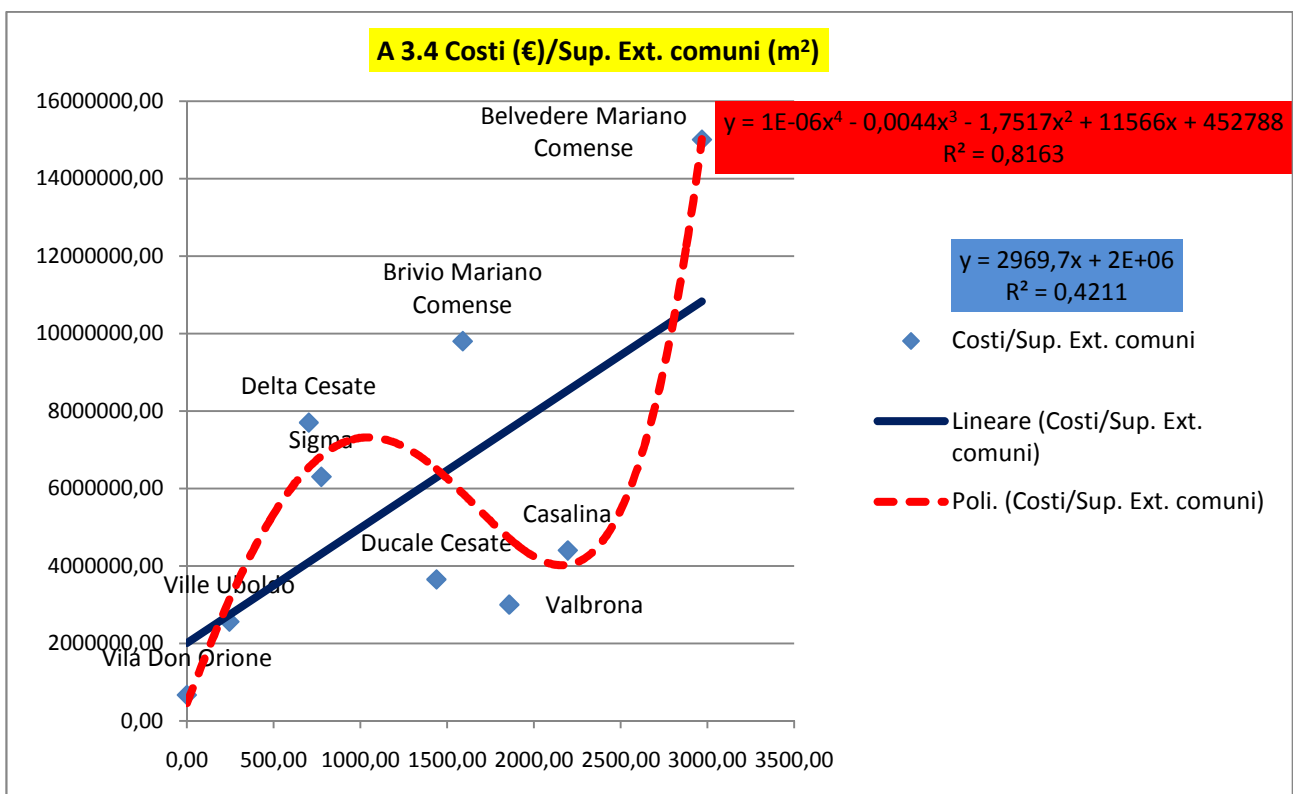
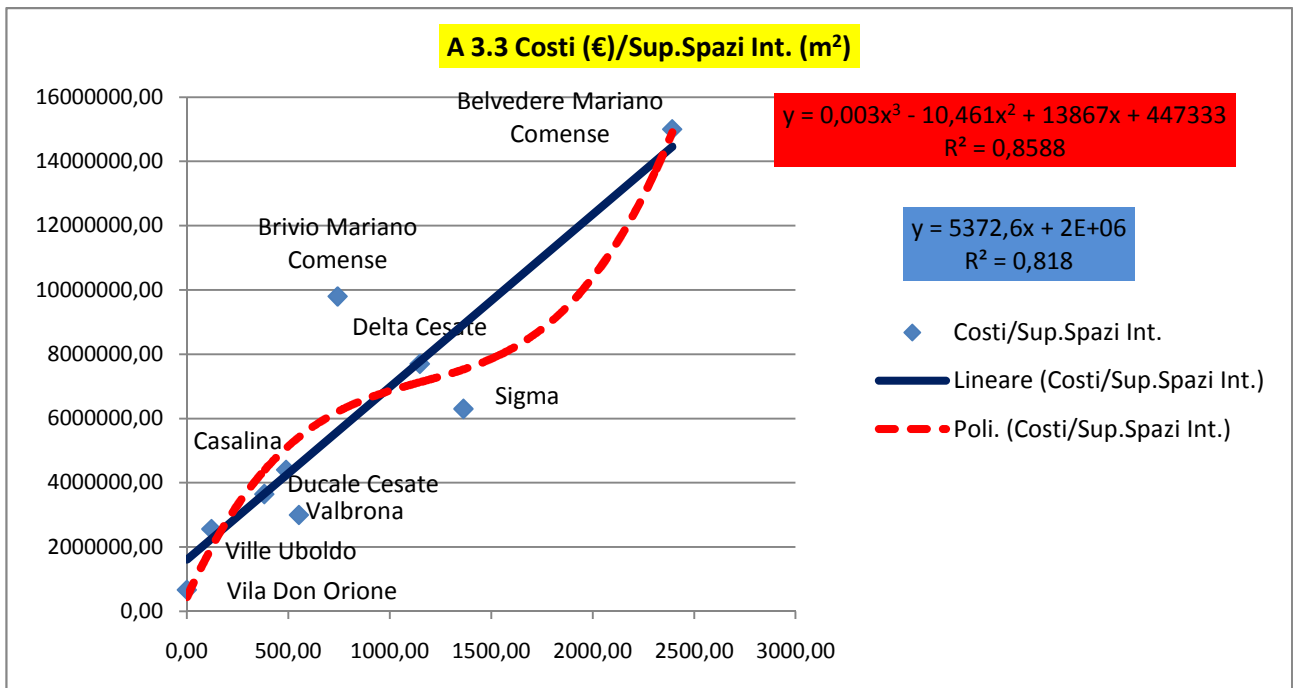
# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



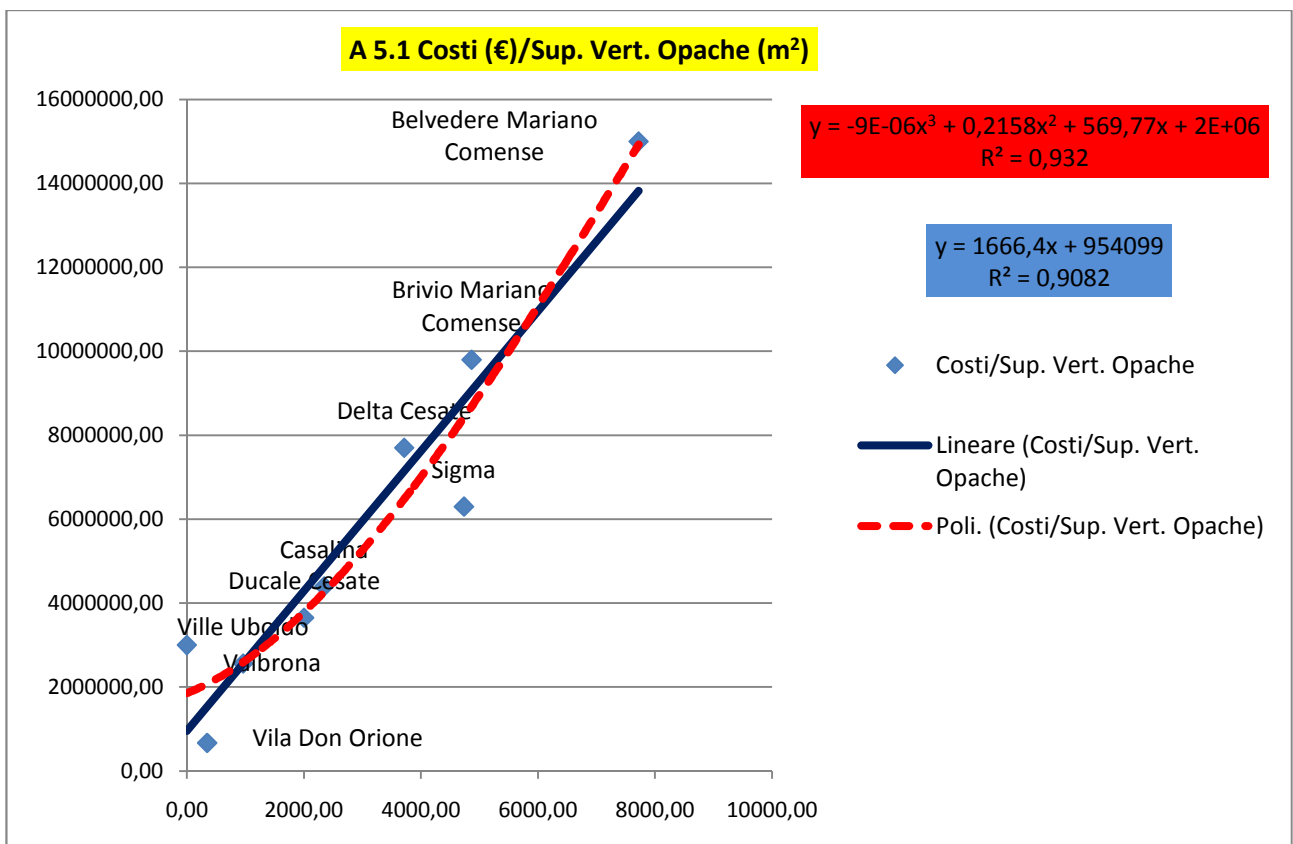
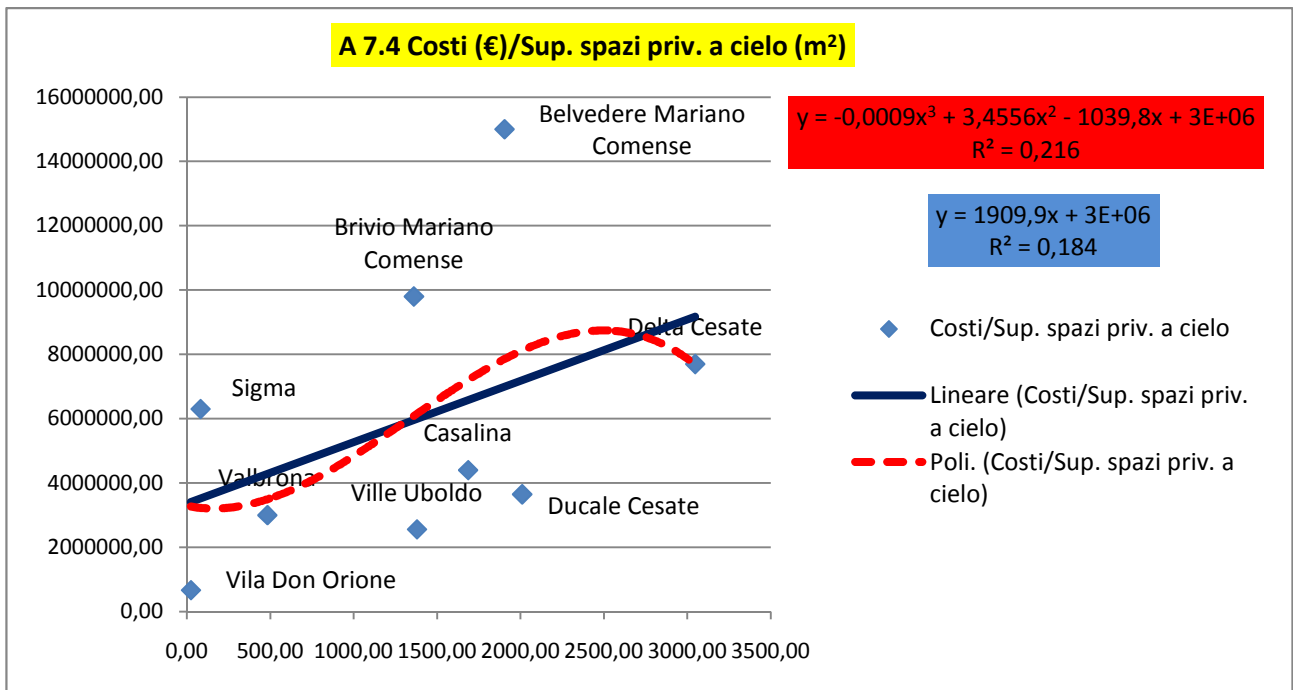
# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



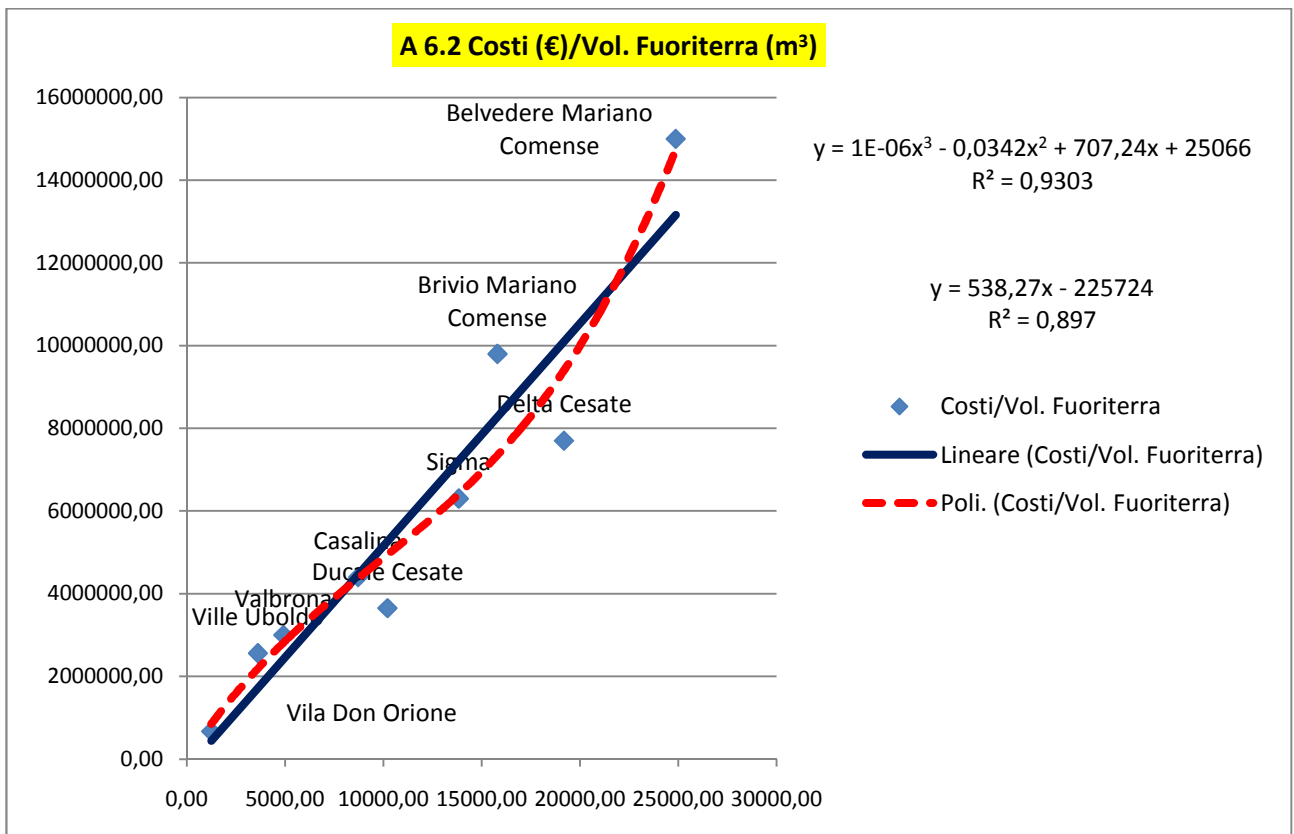
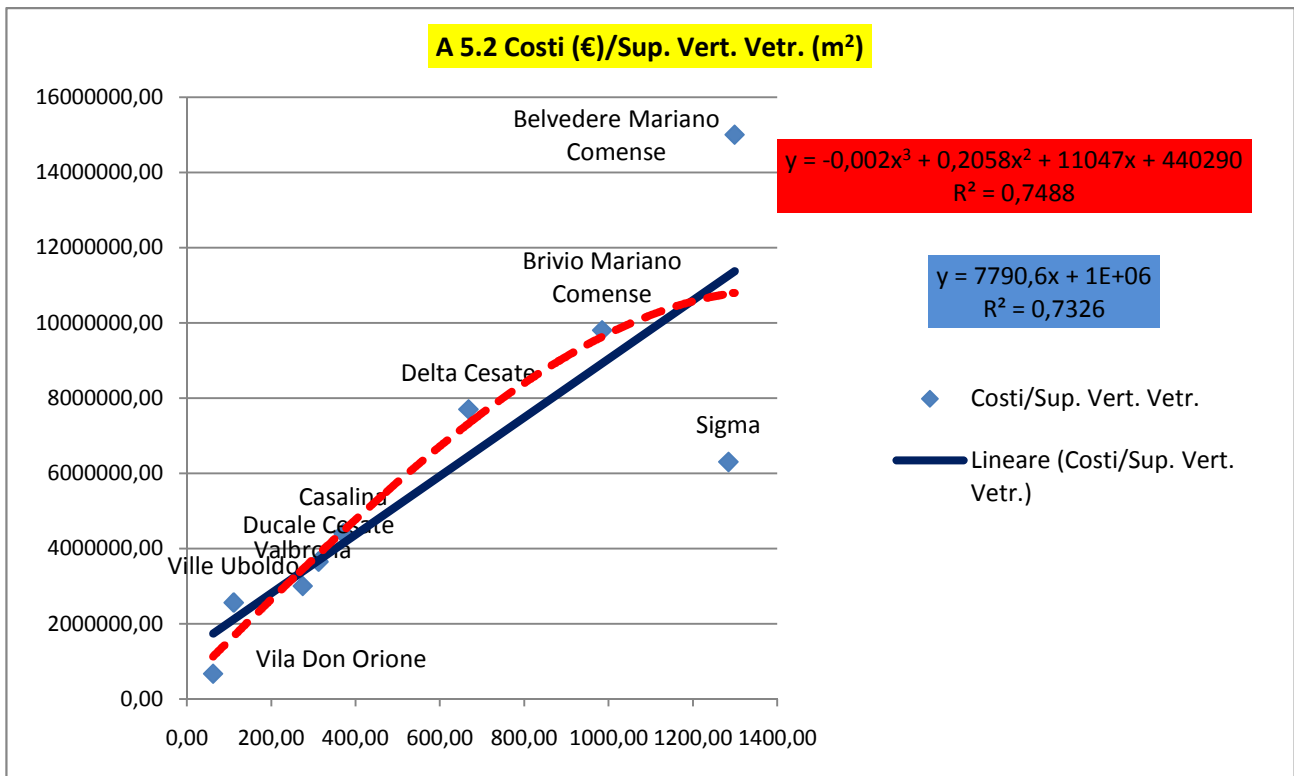
# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



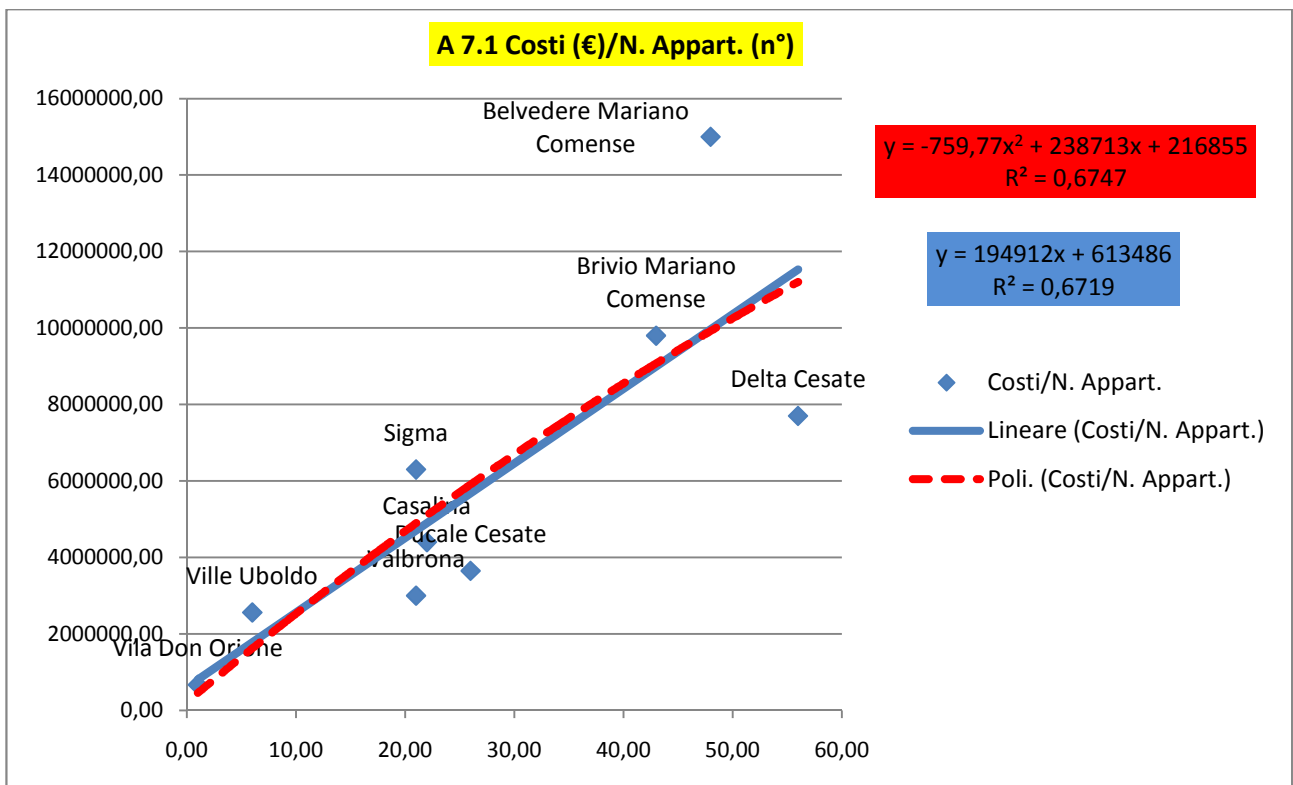
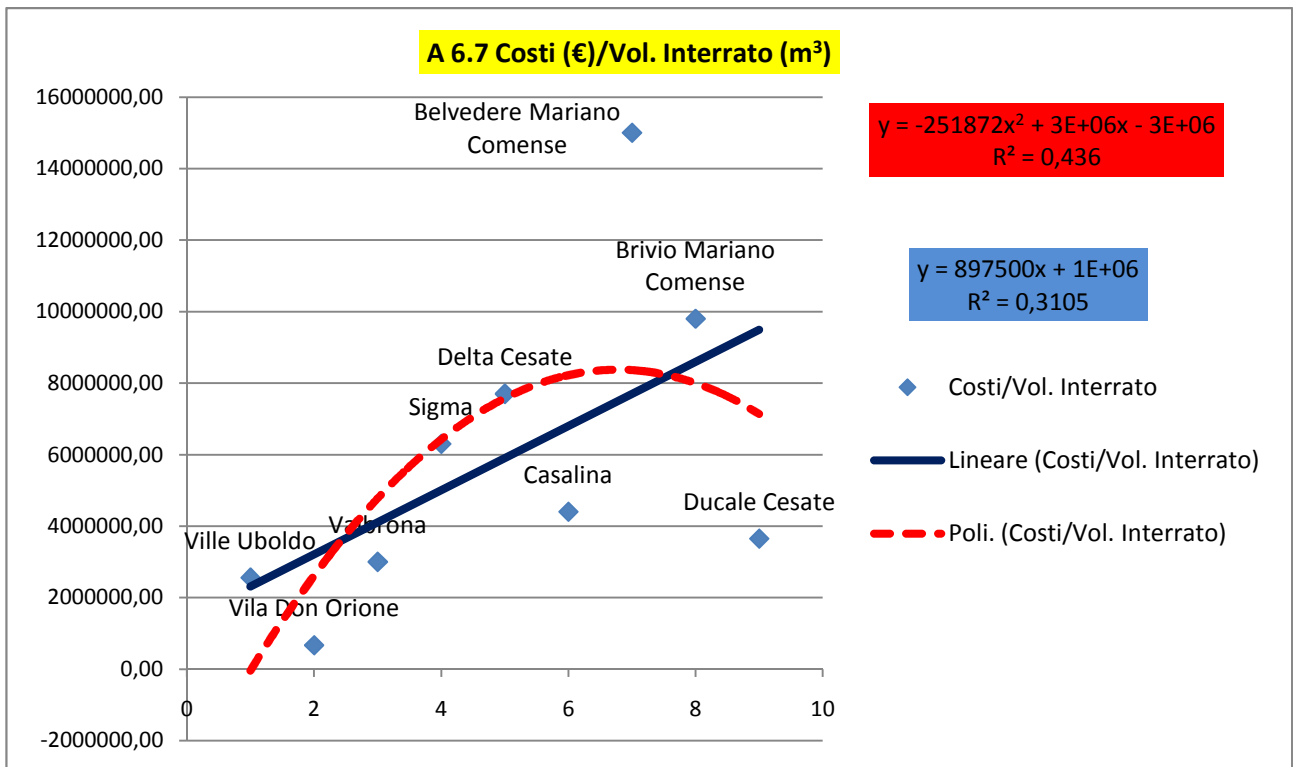
# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



GRAFICI 1-14: GRAFICI PARAMETRI Pn

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Nei grafici sopra riportati, si sono mostrate due tipi di equazioni:

- *equazione delle regressioni lineari*: sono riportate in azzurro, delle quali viene evidenziata l'equazione della retta originata. Oltre all'equazione si è mostrato anche il valore del coefficiente di determinazione  $R^2$ .
- *equazione delle regressioni polinomiali*: sono riportate in rosso, delle quali viene evidenziata l'equazione della retta originata. Oltre all'equazione si è mostrato anche il valore del coefficiente di determinazione  $R^2$ .

Per decidere quali parametri eliminare si è deciso di prendere come valore minimo di  $R^2$  0,4 al di sotto del quale il parametro in esame è considerato superfluo. Tali elementi, infatti, non risultano significativi nel calcolo e, anzi, incidono negativamente sul risultato finale.

Come si può evincere dai grafici sono stati cancellati i seguenti parametri:

- *superficie del lotto*
- *superficie coperta*
- *superficie giardini privati*
- *superfici cantine*
- *superfici spazi esterni comuni*
- *superfici spazi privati a cielo aperto a verde*
- *volume interrato*

A rigore di logica risulta chiaro che tutte le superfici esterne non edificate non possano contribuire alla composizione del costo degli edifici. Anche le cantine non hanno grande importanza in questo caso e pertanto sono state rimosse dall'elenco degli elementi che incidono maggiormente sulla previsione di costo. Il volume dell'interrato è una variabile dipendente dal numero dei box e dalla superficie degli stessi e per questo può essere considerato sovrabbondante.

La lista dei parametri da mantenere è descritta nella *Tab.32* riportata nella pagina successiva.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

	A2.1	A2.3	A3.3	A5.1	A5.2	A6.2	A7.1	Costi (€)
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	n°	
VILLE UBOLDO	899,24	922,71	120,92	962,55	111,08	3615,83	6,00	2560000,00
VILLA DON ORIONE	361,20	40,20	0,00	346,24	62,16	1240,58	1,00	670000,00
VALBRONA	1743,43	873,03	552,07	0,00	274,81	4914,37	21,00	3000000,00
SIGMA	2505,10	1964,80	1363,20	4737,15	1284,45	13836,25	21,00	6300000,00
DELTA-CESATE	4446,30	2919,60	1148,30	3715,12	667,78	19187,90	56,00	7700000,00
CASALINA	2356,90	1171,20	489,30	2347,20	371,51	8712,02	22,00	4400000,00
BELVEDERE-MARIANO COMENSE	6036,80	6203,40	2392,30	7721,14	1299,00	24868,00	48,00	15000000,00
BRIVIO-MARIANO COMENSE	5035,30	2513,60	743,30	4867,40	985,00	15803,19	43,00	9800000,00
LA DUCALE-CESATE	1997,68	1092,12	381,97	2003,69	312,28	10207,94	26,00	3650000,00

TABELLA 32: PARAMETRI - 4°FASE



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Come già scritto in precedenza, il lavoro sin qui descritto argomento di questa tesi si svolge senza prendere in considerazione due condizioni fortemente caratterizzanti un progetto edilizio e che incidono con forza sui costi di costruzione, cioè le caratteristiche impiantistiche e il grado di finitura della costruzione. Per ovviare a questa lacuna, alle voci di costo che già sono state citate e scelte verranno poi affiancati dei coefficienti moltiplicativi in riferimento a:

- *situazione impiantistica prevista per ogni progetto*: gli impianti hanno un grande peso all'interno del problema di determinazione del budget e sono scelti e dimensionati in funzione anche delle prestazioni energetiche del progetto. Nel determinare, dunque, il valore di questi coefficienti correttivi si terrà conto delle: proprietà termo – isolanti del progetto, della classe energetica di appartenenza, della tipologia di caldaia, del sistema di distribuzione, della tipologia dei terminali di riscaldamento, della presenza (o meno) di un sistema di climatizzazione e trattamento dell'aria;
- *tecnologia costruttiva utilizzata per il tamponamento opaco di ogni edificio*: il grado di finitura con il quale andare a trattare gli elementi a rustico di un edificio hanno un'alta incidenza sui costi.

### 4.12 STUDIO DEI PROGETTI: REGRESSIONI LINEARI MULTIPLE

Una volta giunti a stilare la lista dei sette parametri così come presentata in *Tab. 32*, si è cominciato a fare prove di regressioni lineari multiple sui progetti.

Le regressioni in questo caso sono chiamate multiple semplicemente perché non si ha un'unica variabile indipendente (i parametri) e un'unica variabile dipendente (i costi) ma si hanno molti parametri e perciò si hanno più variabili indipendenti.

Si è sempre tenuto fuori da ogni regressione un progetto che fosse quello di raffronto in modo tale da osservare, utilizzando i valori dei coefficienti dedotti dalla regressione fatta sui rimanenti otto progetti, se il costo predetto di quel preciso progetto fosse simile o dissimile da quello reale.

Di tutte le regressioni svolte si è volutamente ommesso tutto il procedimento di calcolo, per altro già descritto approfonditamente nelle pagine precedenti, e si è voluto mostrare solo il risultato.

Il risultato ottenuto, come da tabelle sottostanti, è il valore di costo predetto per ogni progetto, che raffrontato al costo reale sostenuto per la sua effettiva realizzazione, ha indicato gli scostamenti e la vera capacità predittiva del valore calcolato.

Da queste regressioni si sono ottenuti i seguenti risultati:

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

VILLE UBOLDO							
	A2.1 Superfici appartamenti + logge, porticati e balconi	A2.3 Superfici box + corselli	A3.3 Superfici spazi interni comuni	A5.1 Superfici verticali opache	A5.2 Superfici verticali vetrate	A6.2 Fuoriterrra	Costi (€)
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	
Ville Uboldo	899	923	121	963	111	3616	2560000
Vila Don Orione	361	40	0	346	62	1241	670000
Valbrona	1743	873	552	1500	275	4914	3000000
Sigma	2505	1965	1363	4737	1284	13836	6300000
Delta Cesate	4446	2920	1148	3715	668	19188	7700000
Casalina	2357	1171	489	2347	372	8712	4400000
Belvedere Mariano Comense	6037	6203	2392	7721	1299	24868	15000000
Brivio Mariano Comense	5035	2514	743	4867	985	15803	9800000
Ducale Cesate	1998	1092	382	2004	312	10208	3650000

Costi predetti	Scostamento Dal costo reale	Capacità predittiva
€	%	%
2406247,79	6,39%	93,99%

TABELLA 33: CASO DI STUDIO VILLE UBOLDO

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

VILLA DON ORIONE							
	A2.1 Superfici appartamenti + logge, porticati e balconi	A2.3 Superfici box + corselli	A3.3 Superfici spazi interni comuni	A5.1 Superfici verticali opache	A5.2 Superfici verticali vetrate	A6.2 Fuoriterra	Costi (€)
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	
Vila Don Orione	361	40	0	346	62	1241	670000
Ville Uboldo	899	923	121	963	111	3616	2560000
Valbrona	1743	873	552	1500	275	4914	3000000
Sigma	2505	1965	1363	4737	1284	13836	6300000
Delta Cesate	4446	2920	1148	3715	668	19188	7700000
Casalina	2357	1171	489	2347	372	8712	4400000
Belvedere Mariano Comense	6037	6203	2392	7721	1299	24868	15000000
Brivio Mariano Comense	5035	2514	743	4867	985	15803	9800000
Ducale Cesate	1998	1092	382	2004	312	10208	3650000

Costi predetti	Scostamento Dal costo reale	Capacità predittiva
€	%	%
786358,25	-14,80%	117,37%

TABELLA 34: CASO DI STUDIO VILLA DON ORIONE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

VALBRONA							
	A2.1 Superfici appartamenti + logge, porticati e balconi	A2.3 Superfici box + corselli	A3.3 Superfici spazi interni comuni	A5.1 Superfici verticali opache	A5.2 Superfici verticali vetrate	A6.2 Fuoriterra	Costi (€)
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	
Valbrona	1743	873	552	1500	275	4914	3000000
Sigma	2505	1965	1363	1450	1284	13836	6300000
Vila Don Orione	361	40	0	346	62	1241	670000
Ville Uboldo	899	923	121	963	111	3616	2560000
Delta Cesate	4446	2920	1148	3715	668	19188	7700000
Casalina	2357	1171	489	2347	372	8712	4400000
Belvedere Mariano Comense	6037	6203	2392	7721	1299	24868	15000000
Brivio Mariano Comense	5035	2514	743	4867	985	15803	9800000
Ducale Cesate	1998	1092	382	2004	312	10208	3650000

Costi predetti	Scostamento	Capacità predittiva
€	%	%
2933871,95	2,25%	97,80%

TABELLA 35: CASO DI STUDIO VALBRONA

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

SIGMA							
	A2.1 Superfici appartamenti + logge, porticati e balconi	A2.3 Superfici box + corselli	A3.3 Superfici spazi interni comuni	A5.1 Superfici verticali opache	A5.2 Superfici verticali vetrate	A6.2 Fuoriterra	Costi (€)
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	
<b>Sigma</b>	<b>2505</b>	<b>1965</b>	<b>1363</b>	<b>4737</b>	<b>1284</b>	<b>13836</b>	<b>6300000</b>
Valbrona	1743	873	552	1500	275	4914	3000000
Vila Don Orione	361	40	0	346	62	1241	670000
Ville Uboldo	899	923	121	963	111	3616	2560000
Delta Cesate	4446	2920	1148	3715	668	19188	7700000
Casalina	2357	1171	489	2347	372	8712	4400000
Belvedere Mariano Comense	6037	6203	2392	7721	1299	24868	15000000
Brivio Mariano Comense	5035	2514	743	4867	985	15803	9800000
Ducale Cesate	1998	1092	382	2004	312	10208	3650000

Costi predetti	Scostamento	Capacità predittiva
€	%	%
5661345,97	11,28%	89,86%

TABELLA 36: CASO DI STUDIO SIGMA

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

DELTA CESATE							
	A2.1 Superfici appartamenti + logge, porticati e balconi	A2.3 Superfici box + corselli	A3.3 Superfici spazi interni comuni	A5.1 Superfici verticali opache	A5.2 Superfici verticali vetrate	A6.2 Fuoriterra	Costi (€)
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	
Delta Cesate	4446	2920	1148	3715	668	19188	7700000
Valbrona	1743	873	552	1500	275	4914	3000000
Vila Don Orione	361	40	0	346	62	1241	670000
Ville Uboldo	899	923	121	963	111	3616	2560000
Sigma	2505	1965	1363	4737	1284	13836	6300000
Casalina	2357	1171	489	2347	372	8712	4400000
Belvedere Mariano Comense	6037	6203	2392	7721	1299	24868	15000000
Brivio Mariano Comense	5035	2514	743	4867	985	15803	9800000
Ducale Cesate	1998	1092	382	2004	312	10208	3650000

Costi predetti	Scostamento	Capacità predittiva
€	%	%
7897132,19	-2,50%	102,56%

TABELLA 37: CASO DI STUDIO DELTA CESATE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

CASALINA							
	A2.1 Superfici appartamenti + logge, porticati e balconi	A2.3 Superfici box + corselli	A3.3 Superfici spazi interni comuni	A5.1 Superfici verticali opache	A5.2 Superfici verticali vetrate	A6.2 Fuoriterra	Costi (€)
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	
Casalina	2357	1171	489	2347	372	8712	4400000
Valbrona	1743	873	552	1500	275	4914	3000000
Vila Don Orione	361	40	0	346	62	1241	670000
Ville Uboldo	899	923	121	963	111	3616	2560000
Sigma	2505	1965	1363	4737	1284	13836	6300000
Delta Cesate	4446	2920	1148	3715	668	19188	7700000
Belvedere Mariano Comense	6037	6203	2392	7721	1299	24868	15000000
Brivio Mariano Comense	5035	2514	743	4867	985	15803	9800000
Ducale Cesate	1998	1092	382	2004	312	10208	3650000

Costi predetti	Scostamento	Capacità predittiva
€	%	%
4402180,78	-0,05%	100,05%

TABELLA 38: CASO DI STUDIO CASALINA



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

BRIVIO MARIANO COMENSE							
	A2.1 Superfici appartamenti + logge, porticati e balconi	A2.3 Superfici box + corselli	A3.3 Superfici spazi interni comuni	A5.1 Superfici verticali opache	A5.2 Superfici verticali vetrate	A6.2 Fuoriterra	Costi (€)
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	
Brivio Mariano Comense	5035	2514	743	4867	985	15803	9800000
Valbrona	1743	873	552	1500	275	4914	3000000
Vila Don Orione	361	40	0	346	62	1241	670000
Ville Uboldo	899	923	121	963	111	3616	2560000
Sigma	2505	1965	1363	4737	1284	13836	6300000
Delta Cesate	4446	2920	1148	3715	668	19188	7700000
Belvedere Mariano Comense	6037	6203	2392	7721	1299	24868	15000000
Casalina	2357	1171	489	2347	372	8712	4400000
Ducale Cesate	1998	1092	382	2004	312	10208	3650000

Costi predetti	Scostamento	Capacità predittiva
€	%	%
9906516,88	-1,08%	101,09%

TABELLA 39: CASO DI STUDIO BRIVIO MARIANO COMENSE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

BELVEDERE MARIANO COMENSE							
	A2.1 Superfici appartamenti + logge, porticati e balconi	A2.3 Superfici box + corselli	A3.3 Superfici spazi interni comuni	A5.1 Superfici verticali opache	A5.2 Superfici verticali vetrate	A6.2 Fuoriterra	Costi (€)
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	
Belvedere Mariano Comense	6037	6203	2392	7721	1299	24868	15000000
Valbrona	1743	873	552	1500	275	4914	3000000
Vila Don Orione	361	40	0	346	62	1241	670000
Ville Uboldo	899	923	121	963	111	3616	2560000
Sigma	2505	1965	1363	4737	1284	13836	6300000
Delta Cesate	4446	2920	1148	3715	668	19188	7700000
Brivio Mariano Comense	5035	2514	743	4867	985	15803	9800000
Casalina	2357	1171	489	2347	372	8712	4400000
Ducale Cesate	1998	1092	382	2004	312	10208	3650000

Costi predetti	Scostamento	Capacità predittiva
€	%	%
15564865,76	-3,63%	103,77%

TABELLA 40: CASO DI STUDIO BELVEDERE MARIANO COMENSE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

DUCALE CESATE							
	A2.1 Superfici appartamenti + logge, porticati e balconi	A2.3 Superfici box + corselli	A3.3 Superfici spazi interni comuni	A5.1 Superfici verticali opache	A5.2 Superfici verticali vetrate	A6.2 Fuoriterra	Cost (€)i
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	
Ducale Cesate	1998	1092	382	2004	312	10208	3650000
Valbrona	1743	873	552	1500	275	4914	3000000
Vila Don Orione	361	40	0	346	62	1241	670000
Ville Uboldo	899	923	121	963	111	3616	2560000
Sigma	2505	1965	1363	4737	1284	13836	6300000
Delta Cesate	4446	2920	1148	3715	668	19188	7700000
Brivio Mariano Comense	5035	2514	743	4867	985	15803	9800000
Casalina	2357	1171	489	2347	372	8712	4400000
Belvedere Mariano Comense	6037	6203	2392	7721	1299	24868	15000000

Costi predetti	Scostamento	Capacità predittiva
€	%	%
3607231,07	1,19%	98,83%

TABELLA 41: CASO DI STUDIO DUCALE CESATE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

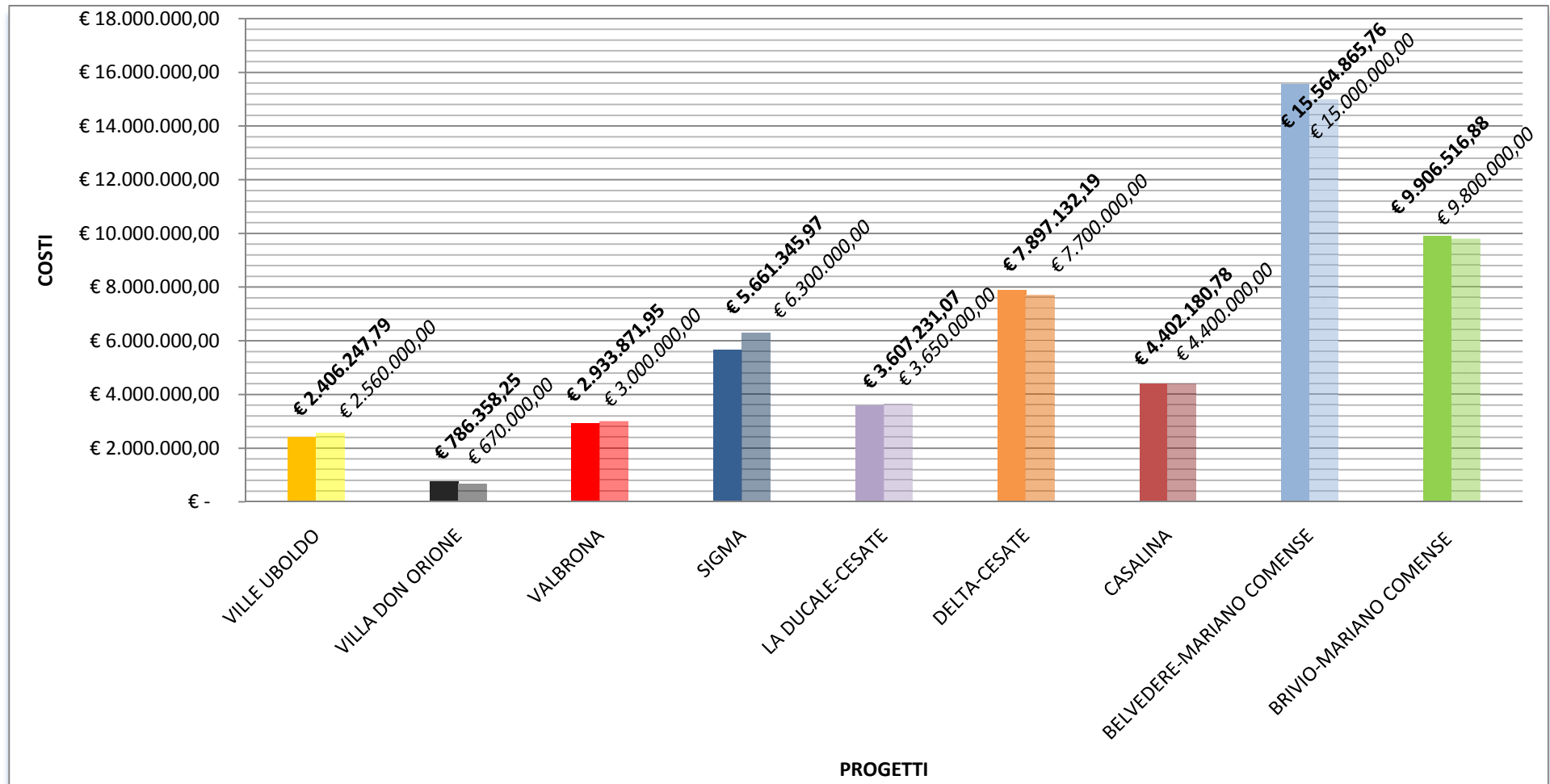


GRAFICO 15: ISTOGRAMMA RIASSUNTO RISULTATI

Politecnico di Milano, Facoltà di Ingegneria Edile/Architettura  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dei Sistemi Edilizi  
Anno Accademico 2009 - 2010

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Dal grafico sopra riportato e dalla tabella seguente si possono facilmente interpretare i risultati raggiunti.

PROGETTI	COSTI REALI	COSTI PREDETTI	SCOSTAMENTO	CAPACITA' PREDITTIVA
VILLE UBOLDO	€ 2.560.000,00	€ 2.406.247,79	6,39%	93,99%
VILLA DON ORIONE	€ 670.000,00	€ 786.358,25	-14,80%	117,37%
VALBRONA	€ 3.000.000,00	€ 2.933.871,95	2,25%	97,80%
SIGMA	€ 6.300.000,00	€ 5.661.345,97	11,28%	89,86%
LA DUCALE-CESATE	€ 3.650.000,00	€ 3.607.231,07	1,19%	98,83%
DELTA-CESATE	€ 7.700.000,00	€ 7.897.132,19	-2,50%	102,56%
CASALINA	€ 4.400.000,00	€ 4.402.180,78	-0,05%	100,05%
BELVEDERE-MARIANO COMENSE	€ 15.000.000,00	€ 15.564.865,76	-3,63%	103,77%
BRIVIO-MARIANO COMENSE	€ 9.800.000,00	€ 9.906.516,88	-1,08%	101,09%

TABELLA 42: RIASSUNTO RISULTATI

Come si osserva gli scostamenti tra i costi predetti e i costi reali sono quasi tutti sotto il 5%.

Villa Don Orione, per dimensioni soprattutto e per tipologia, differisce notevolmente da tutti gli altri progetti. Per questo la previsione del suo costo si scosta in misura maggiore rispetto alle altre previsioni.

Infatti Villa Don Orione è solamente una villa mentre tutti gli altri progetti sono edifici residenziali ad uso abitativo, con molti appartamenti, normalmente in numero superiore a 10.

Tutti questi costi previsionali, come detto in precedenza, devono essere poi corretti con l'uso di coefficienti che tengano conto degli impianti termici installati e della tecnologia di tamponamento esterno utilizzata che differisce da progetto a progetto.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

### 4.13 STUDIO PROBABILISTICO DEI DATI

Una volta svolte le regressioni lineari, come descritto nelle pagine precedenti, si è iniziato uno studio di tipo probabilistico che, partendo dai dati elaborati da quelli di progetto finora ottenuti, elaborasse in maniera deduttiva nuovi valori numerici non più strettamente legati ai casi di studio. La tabella successiva riporta in maniera sintetica i valori dei coefficienti di regressione  $m_n$  e delle intercette  $b_n$  (dove  $n$  indica il numero del progetto), nuovo punto di partenza dell'analisi dei dati.

PROGETTI	$m_6$	$m_5$	$m_4$	$m_3$	$m_2$	$m_1$	b
VILLE UBOLDO	-107,7	-286,8	1126,9	-1162,1	1117,453	845,6	91802,922
VILLA DON ORIONE	-111,8	163,6	998,4	-1401,3	1304,103	811,1	223778,704
VALBRONA	-57,6	3136,5	535,2	-1356,7	1346,671	467,7	310257,802
SIGMA	-125,2	-841,1	1141,2	-1436,3	1294,377	940,2	127418,143
LA DUCALE-CESATE	-93,6	480,0	811,6	-1339,6	1337,769	858,0	174487,842
DELTA-CESATE	-108,4	60,7	1030,6	-1370,0	1266,738	814,5	172158,416
CASALINA	-114,7	186,9	1021,0	-1469,3	1285,611	847,2	159806,641
BELVEDERE-MARIANO COMENSE	-123,6	-501,6	1219,9	-1291,3	1340,766	747,6	129887,882
BRIVIO-MARIANO COMENSE	-114,2	184,8	988,4	-1357,9	1291,639	834,9	174861,974

TABELLA 43: COEFFICIENTI DI REGRESSIONE E VALORE DELL'INTERCETTA

Dapprima è stato svolto un raffronto visivo che permettesse di individuare in modo qualitativo l'andamento dei coefficienti. I due grafici seguenti sono il risultato di questa scelta: il primo grafico riguarda i coefficienti  $m_n$ , il secondo le intercette  $b_n$ .

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

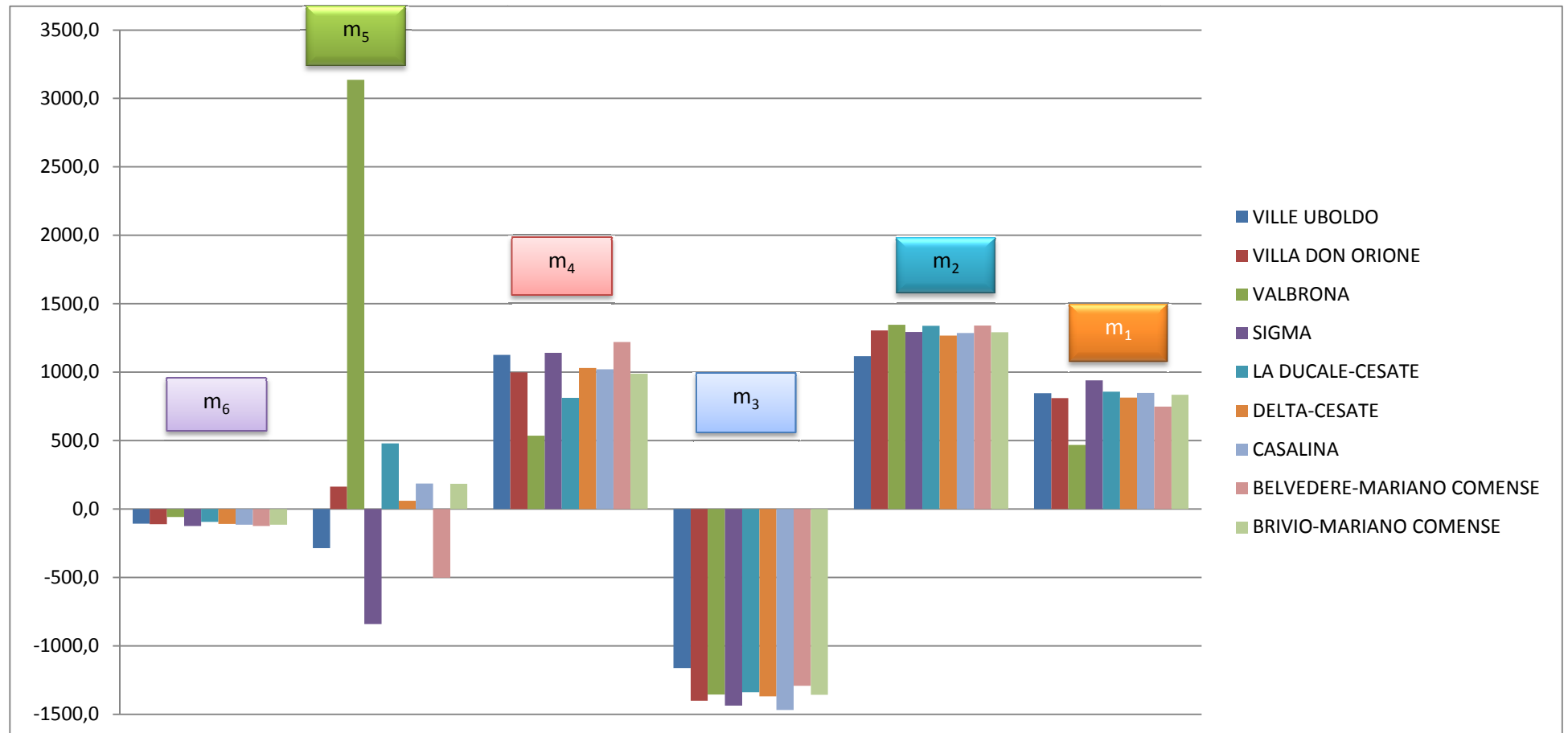


GRAFICO 26: ISTOGRAMMA DEI COEFFICIENTI DI REGRESSIONE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

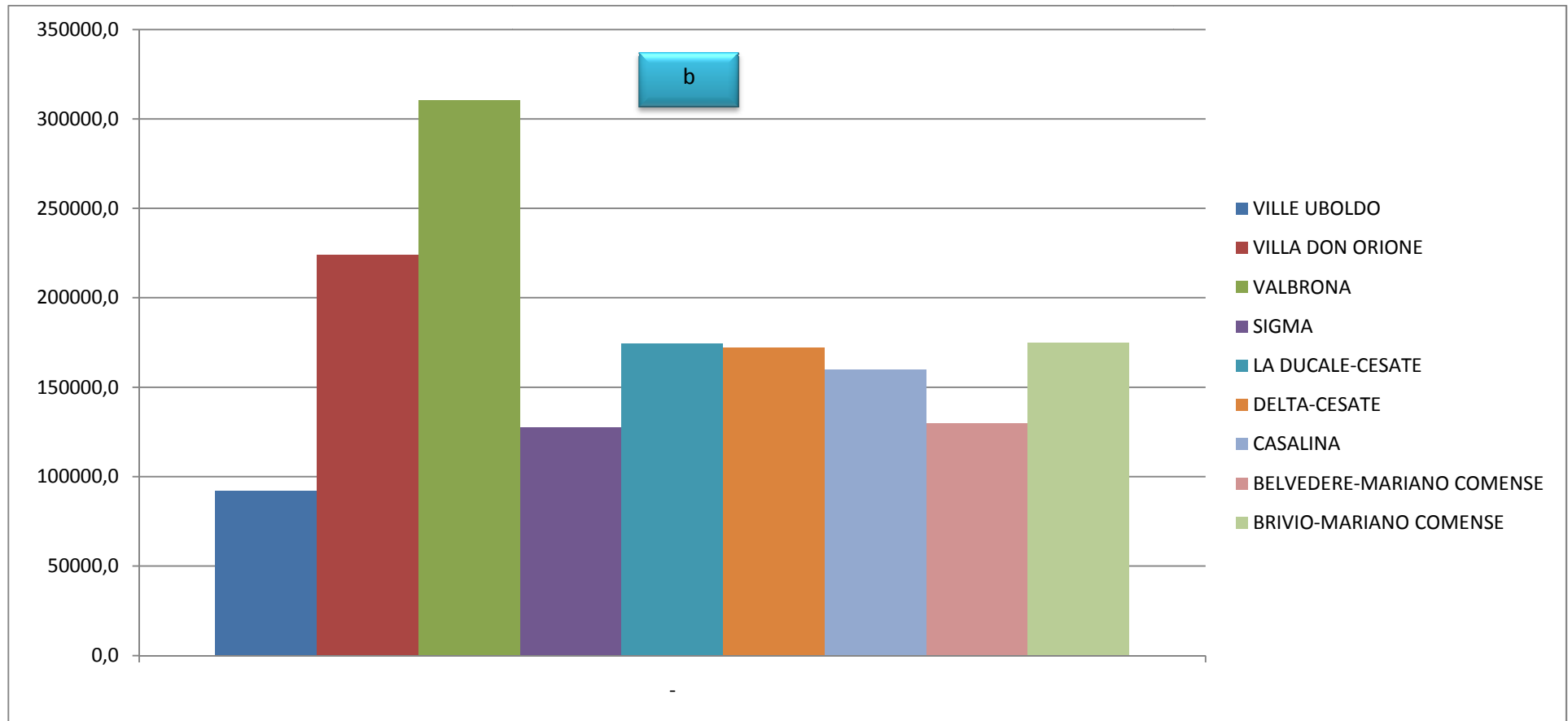


GRAFICO 17: ISTOGRAMMA DELLE INTERCETTE



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Dall'osservazione degli istogrammi si individuano alcuni valori dei coefficienti di regressione dell'intercetta alterati rispetto all'andamento generale. Perciò ci si è trovati nella necessità di ottenere valori per  $m_n$  e  $b_n$  che non fossero afflitti da variazioni eccessive dovute all'eterogeneità dei progetti presi in esame. Si è cercato dunque di passare da una condizione legata alla contingenza dei casi pratici a una generalizzazione più lontana dai progetti in esame e con un valore teorico maggiore.

Lo studio probabilistico ha avuto inizio dalla distribuzione dei coefficienti di regressione. Per ogni  $m_n$ , noti i valori massimi e minimi, si è calcolata la frequenza degli stessi all'interno di range di uguale misura, ottenendo dei grafici di distribuzione di probabilità discontinui. Questi grafici sono stati poi confrontati con quelli di distribuzione normale ottenuti partendo dagli stessi valori di massimo e minimo dei coefficienti  $m_n$  e da quelli di media e di deviazione standard (i grafici sono riportati nelle pagine successive).

Le curve ottenute sono grafici di probabilità cumulativa che descrivono in percentuale la probabilità che un coefficiente di regressione, per esempio  $m_1$ , possa assumere un valore minore o uguale a quello di ingresso, individuato sull'asse orizzontale.

Si nota immediatamente che esistono delle differenze tra i valori estrapolati dal caso di studio e i valori del caso più teorico descritto dalla distribuzione normale. È bene notare che le distribuzioni di probabilità ottenute dalla frequenza, sono delle curve spezzate che spesso presentano dei range vuoti (plateau). Al contrario invece le curve delle distribuzioni di Gauss non hanno questo andamento ma sono linee continue. Inoltre l'intersezione tra le due distribuzioni, per ogni coefficiente, avvengono per valori che hanno una probabilità cumulativa tra il 65 e il 90 %, oppure inferiore al 40 %; questo significa che i valori che hanno probabilità cumulativa più realistica, quelli intorno al 50 %, sono tali per cui, a seconda della distribuzione presa a riferimento, daranno come esito costi differenti.

L'obiettivo dello studio in questione è individuare quella distribuzione di probabilità che meglio approssimi i valori reali di costo. Pertanto non si cerca più di ottenere un valore determinato di costo ma un range probabilistico compreso tra due valori all'interno del quale il costo del progetto può ricadere. Per simulare le distribuzioni delle probabilità di costo si è utilizzato il metodo Montecarlo.

Da un punto di vista matematico il passaggio concettuale può essere sintetizzato così:

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

$$C(x_n) = m_n \cdot x_n + b$$



$$P(C(x_n)) = P(m_n) \cdot x_n + P(b)$$

Dove con  $n$  si intende il numero delle variabili indipendenti che descrivono i parametri di progetto.

Si deve precisare, poiché si deve individuare un costo in € e poiché i coefficienti si rapportano con parametri riferiti a volumi o superfici, i coefficienti non saranno numeri adimensionali. Le loro unità di misura sono di seguito riportate:

$$[m_1] = \text{€}/\text{m}^2$$

$$[m_2] = \text{€}/\text{m}^2$$

$$[m_3] = \text{€}/\text{m}^2$$

$$[m_4] = \text{€}/\text{m}^2$$

$$[m_5] = \text{€}/\text{m}^2$$

$$[m_6] = \text{€}/\text{m}^3$$

$$[b] = \text{€}$$

Nel prosieguo della tesi i coefficienti saranno indicati sempre senza unità di misura.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

$m_1$					
		Range	Frequenza dei valori nel range	Probabilità cumulativa	Distribuzione normale (Guass)
<b>MAX</b>	940,2				
<b>min</b>	467,7	467,7	1	0,111	0,007
<b>Media</b>	796,3	562,2	0	0,111	0,039
<b>Deviazione standard</b>	133,2				
		656,7	0	0,111	0,147
<b>n</b>	5	751,2	1	0,222	0,367
		845,7	4	0,667	0,645
		940,2	3	1,000	0,860

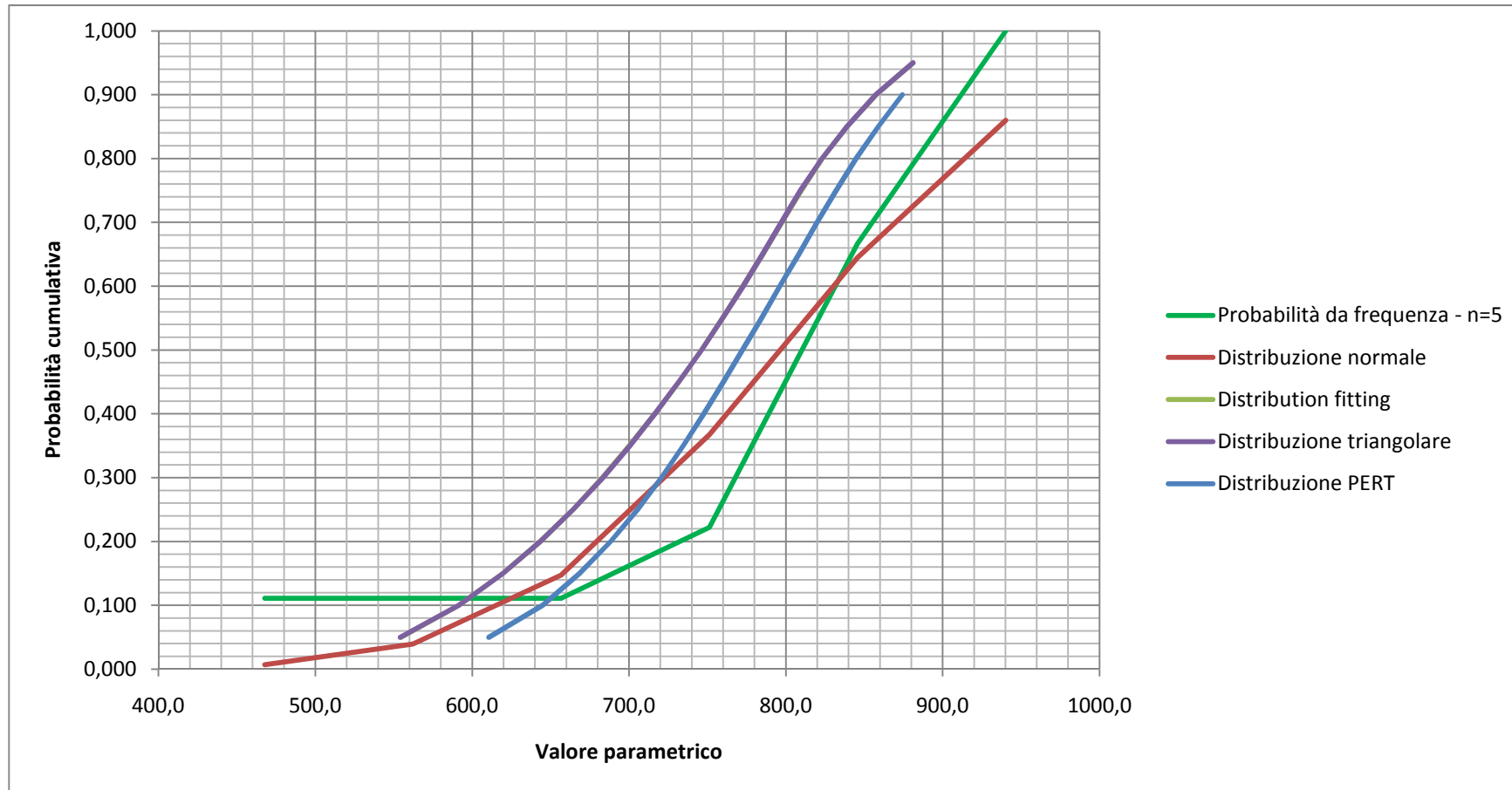
$m_1$					
		Range	Frequenza dei valori nel range	Probabilità cumulativa	Distribuzione normale (Guass)
<b>MAX</b>	940,2				
<b>min</b>	467,7	467,7	1	0,111	0,007
<b>Media</b>	796,3	526,8	0	0,111	0,021
<b>Deviazione standard</b>	133,2				
		585,8	0	0,111	0,057
<b>n</b>	8	644,9	0	0,111	0,128
		703,9	0	0,111	0,244
		763,0	1	0,222	0,401
		822,1	2	0,444	0,577
		881,1	4	0,889	0,738
		940,2	0	0,889	0,860

TABELLA 44: CARATTERISTICHE  $m_1$

Dalle tabelle recanti le caratteristiche statistiche sopra riportate si sono ricavati i seguenti grafici.

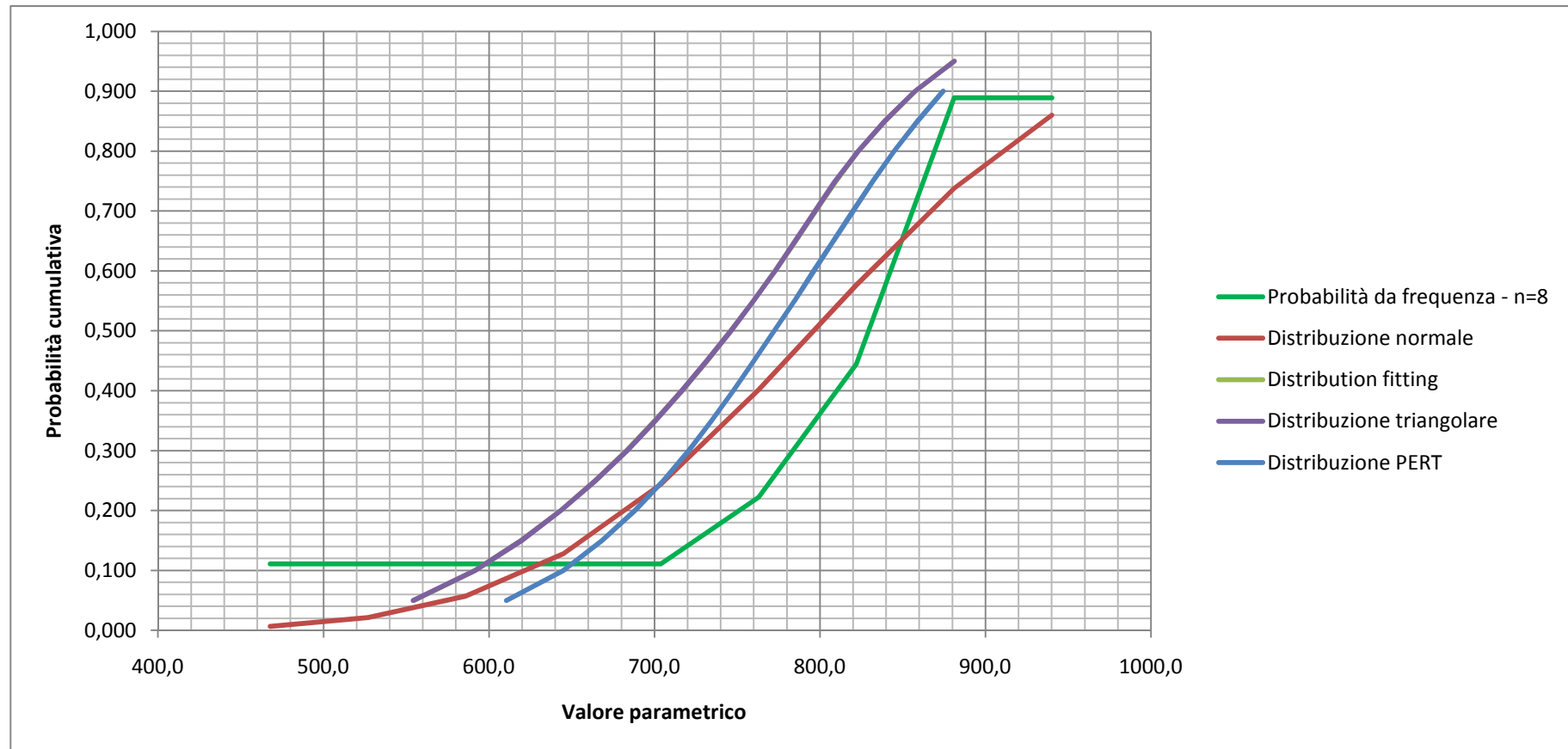
## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



GRAFICI 18-19: ANDAMENTO  $m_1$

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

$m_2$					
		Range	Frequenza dei valori nel range	Probabilità cumulativa	Distribuzione normale (Guass)
<b>MAX</b>	1346,7				
<b>min</b>	1117,5	1117,5	1	0,111	0,007
<b>Media</b>	1287,2	1163,3	0	0,111	0,037
<b>Deviazione standard</b>	69,4				
		1209,1	0	0,111	0,130
<b>n</b>	5	1255,0	0	0,111	0,321
		1300,8	4	0,556	0,578
		1346,7	4	1,000	0,804

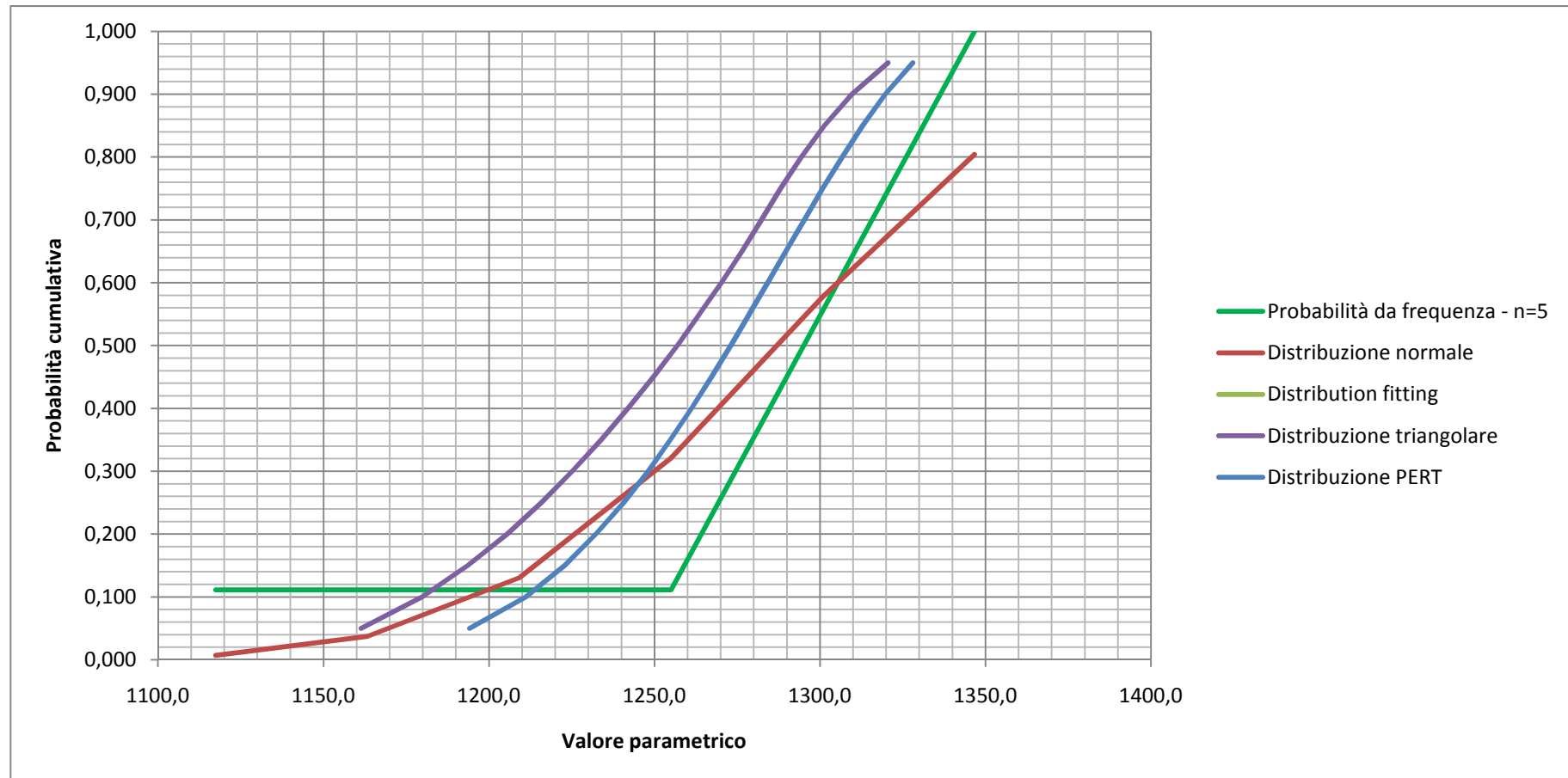
$m_2$					
		Range	Frequenza dei valori nel range	Probabilità cumulativa	Distribuzione normale (Guass)
<b>MAX</b>	1346,7				
<b>min</b>	1117,5	1117,5	1	0,111	0,007
<b>Media</b>	1287,2	1146,1	0	0,111	0,021
<b>Deviazione standard</b>	69,4				
		1174,8	0	0,111	0,053
<b>n</b>	8	1203,4	0	0,111	0,114
		1232,1	0	0,111	0,213
		1260,7	0	0,111	0,351
		1289,4	2	0,333	0,512
		1318,0	3	0,667	0,671
		1346,7	3	1,000	0,804

TABELLA 45: CARATTERISTICHE  $m_2$

Dalle tabelle recanti le caratteristiche statistiche sopra riportate si sono ricavati i seguenti grafici.

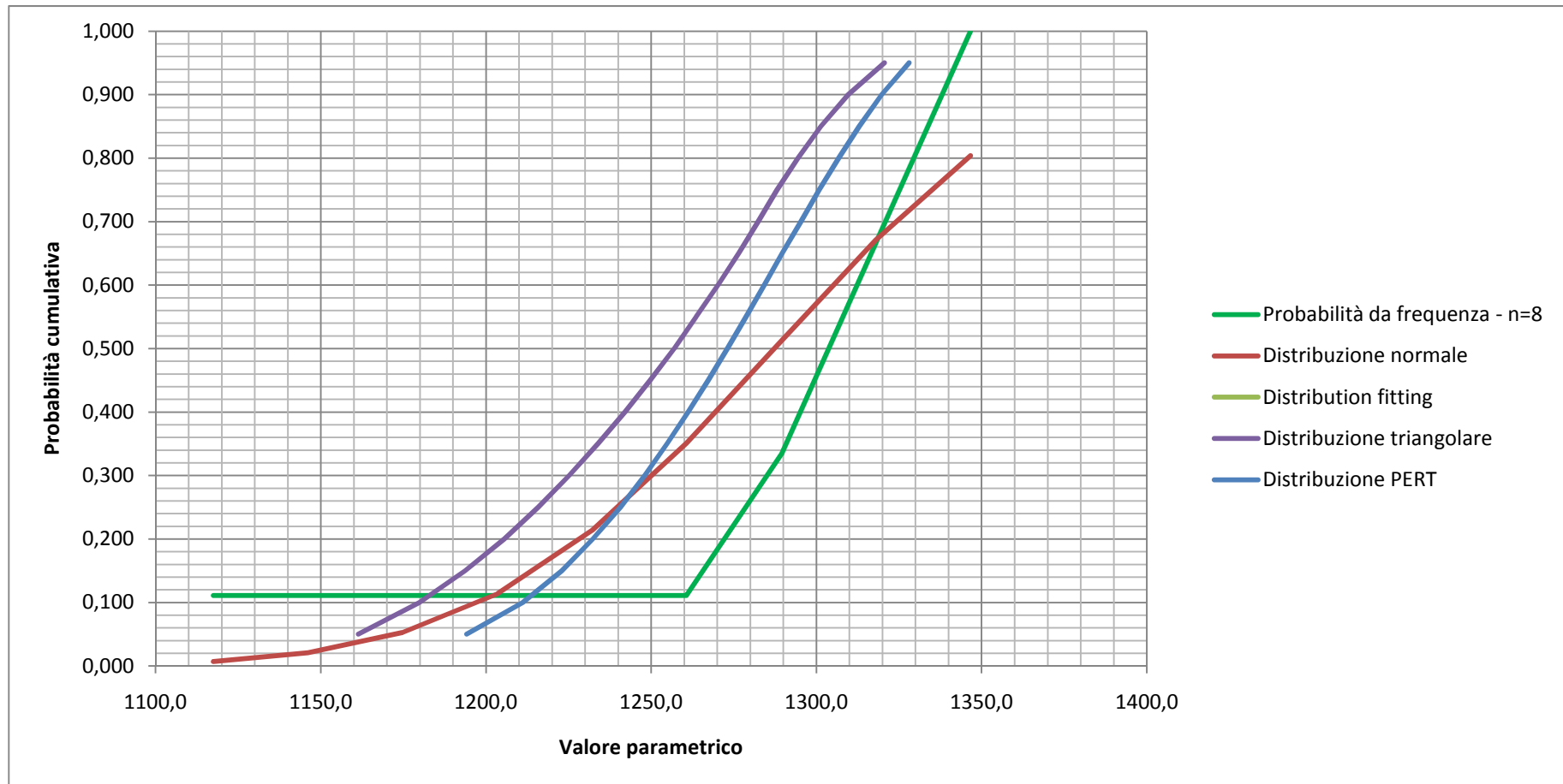
## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



GRAFICI 20-21: ANDAMENTO  $m_2$



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

$m_3$					
		Range	Frequenza dei valori nel range	Probabilità cumulativa	Distribuzione normale (Guass)
<b>MAX</b>	-1162,1				
<b>min</b>	-1469,3	-1469,3	1	0,111	0,048
<b>Media</b>	-1353,8	-1407,9	1	0,222	0,218
<b>Deviazione standard</b>	69,4	-1346,4	4	0,667	0,542
<b>n</b>	5	-1285,0	2	0,889	0,839
		-1223,6	0	0,889	0,970
		-1162,1	1	1,000	0,997

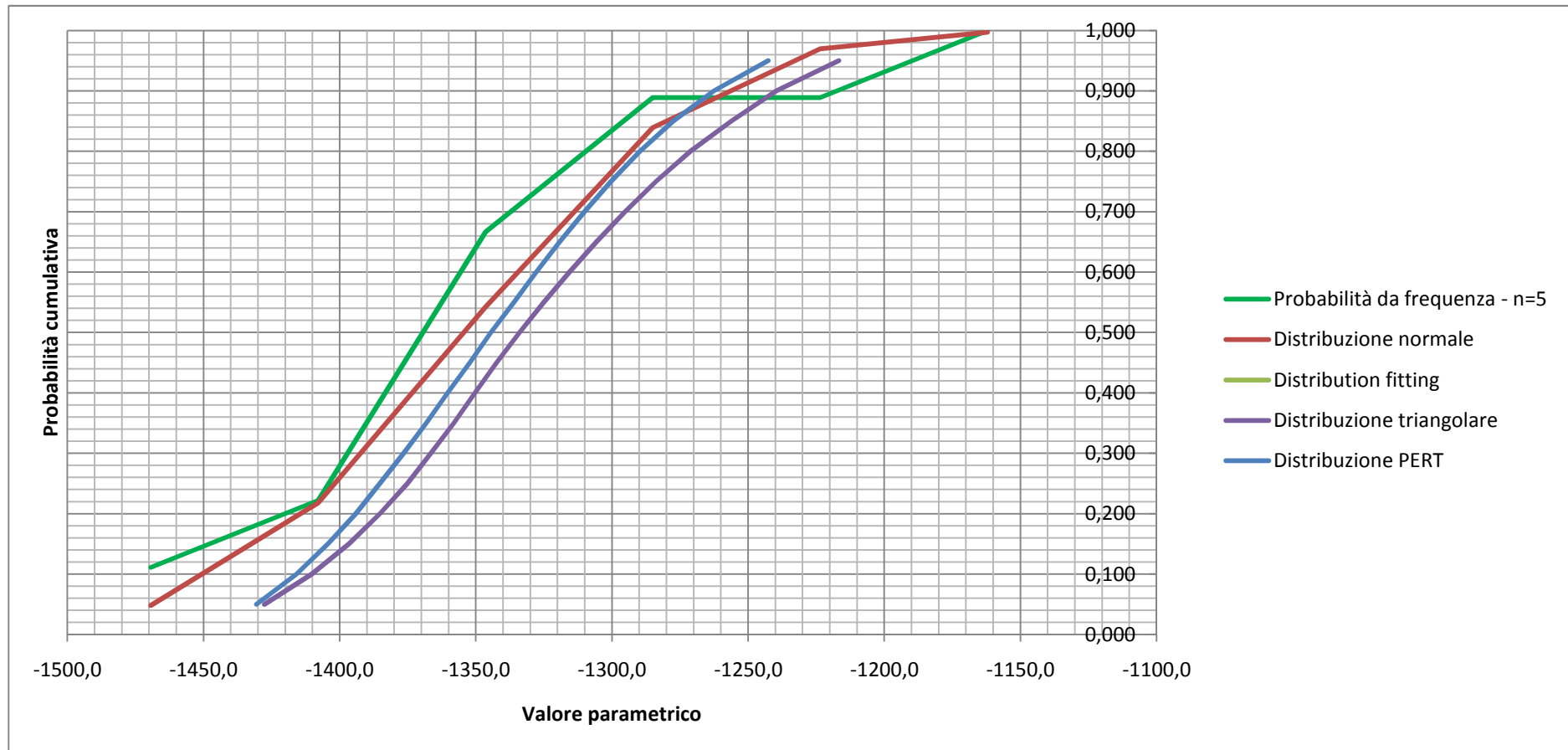
$m_3$					
		Range	Frequenza dei valori nel range	Probabilità cumulativa	Distribuzione normale (Guass)
<b>MAX</b>	-1162,1				
<b>min</b>	-1469,3	-1469,3	1	0,111	0,048
<b>Media</b>	-1353,8	-1430,9	1	0,222	0,133
<b>Deviazione standard</b>	69,4	-1392,5	1	0,333	0,289
<b>n</b>	8	-1354,1	3	0,667	0,498
		-1315,7	1	0,778	0,709
		-1277,3	1	0,889	0,865
		-1238,9	0	0,889	0,951
		-1200,5	0	0,889	0,986
		-1162,1	1	1,000	0,997

TABELLA 46: CARATTERISTICHE  $m_3$

Dalle tabelle recanti le caratteristiche statistiche sopra riportate si sono ricavati i seguenti grafici.

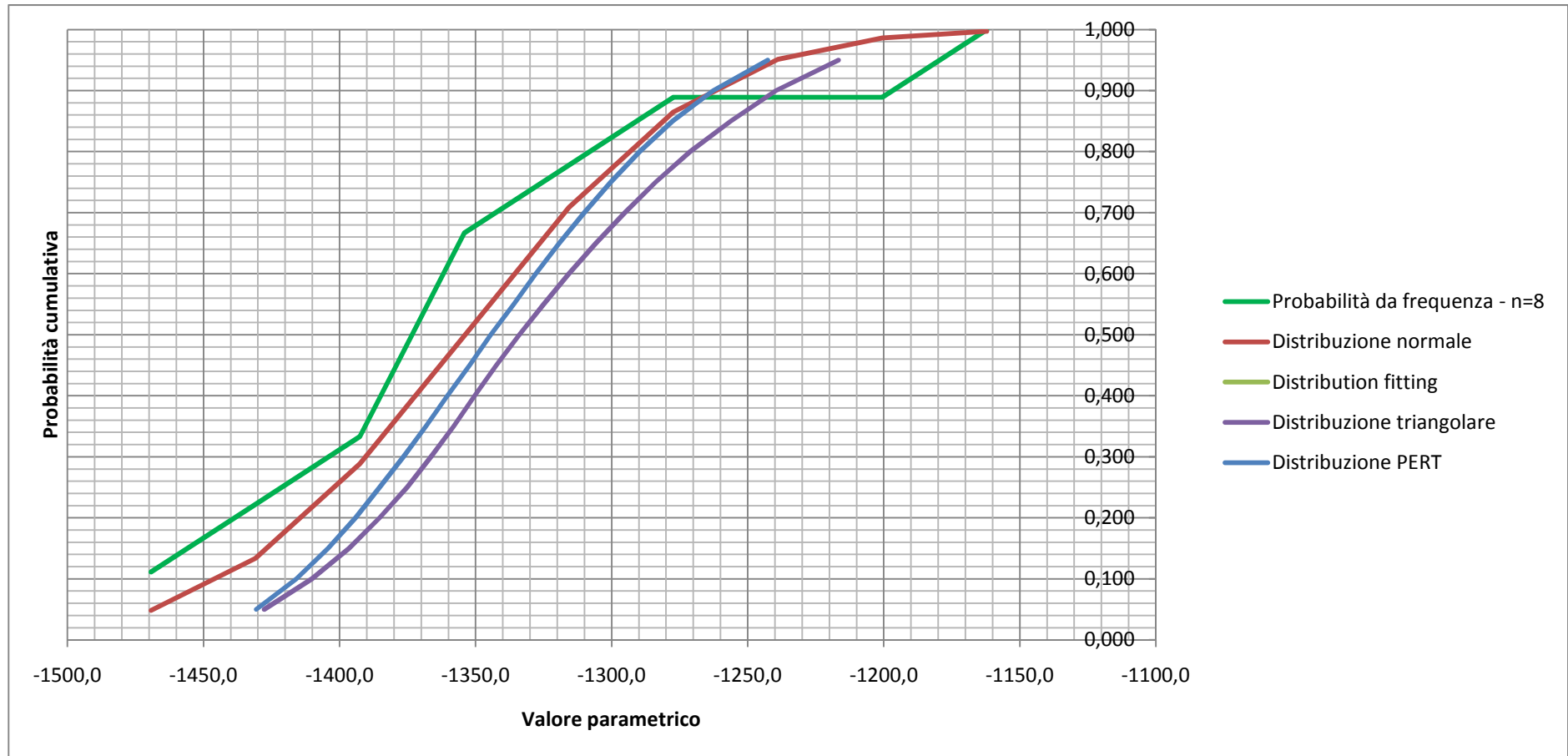
## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



GRAFICI 22-23: ANDAMENTO  $m_3$

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

m <sub>4</sub>					
		Range	Frequenza dei valori nel range	Probabilità cumulativa	Distribuzione normale (Guass)
<b>MAX</b>	1219,9				
<b>min</b>	535,2	535,2	1	0,111	0,014
<b>Media</b>	985,9	672,1	0	0,111	0,063
<b>Deviazione standard</b>	204,9				
		809,1	0	0,111	0,194
<b>n</b>	5	946,0	1	0,222	0,423
		1082,9	4	0,667	0,682
		1219,9	3	1,000	0,873

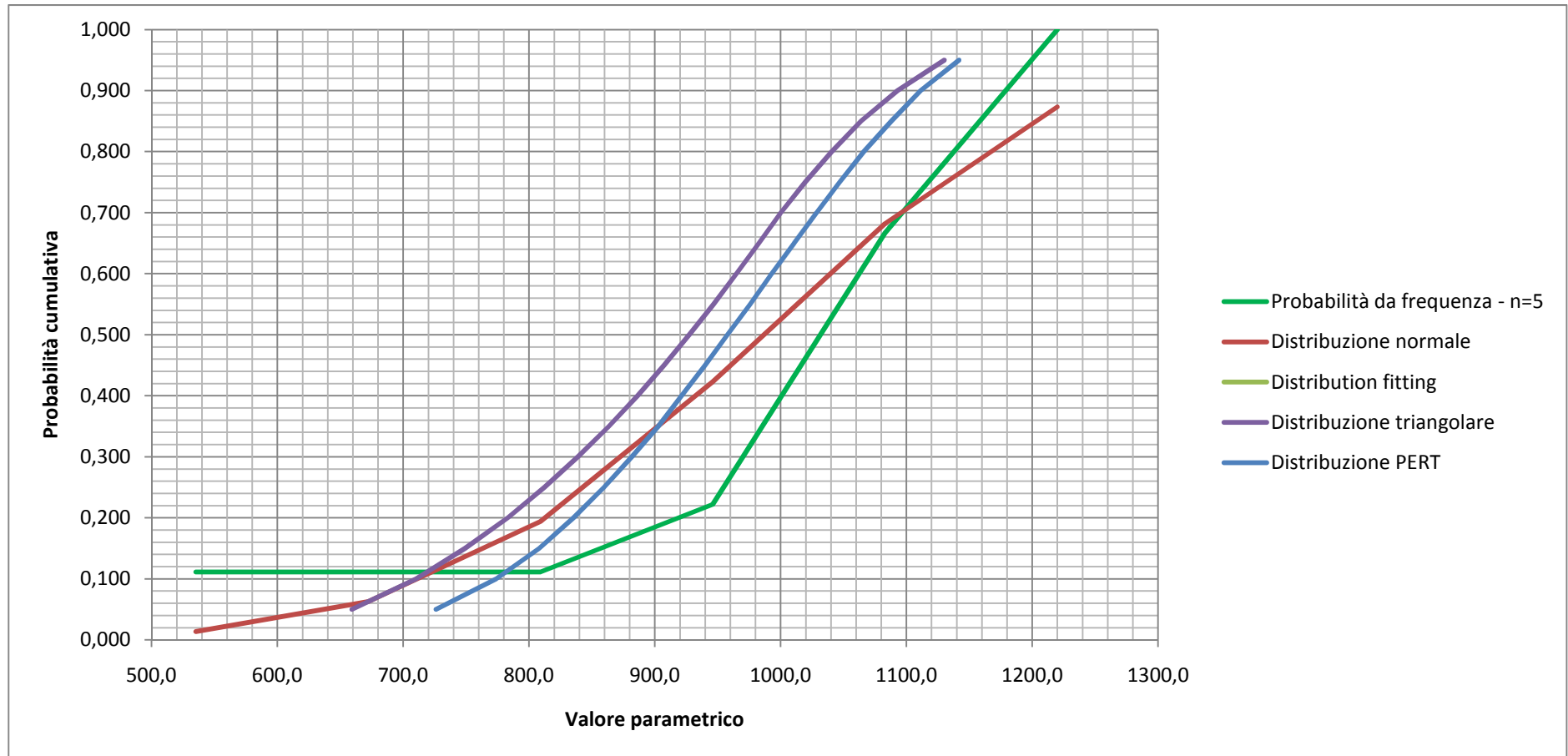
m <sub>4</sub>					
		Range	Frequenza dei valori nel range	Probabilità cumulativa	Distribuzione normale (Guass)
<b>MAX</b>	1219,9				
<b>min</b>	535,2	535,2	1	0,111	0,014
<b>Media</b>	985,9	620,8	0	0,111	0,037
<b>Deviazione standard</b>	204,9				
		706,4	0	0,111	0,086
<b>n</b>	8	791,9	0	0,111	0,172
		877,5	1	0,222	0,298
		963,1	0	0,222	0,456
		1048,7	4	0,667	0,620
		1134,3	1	0,778	0,766
		1219,9	2	1,000	0,873

TABELLA 47: CARATTERISTICHE m<sub>4</sub>

Dalle tabelle recanti le caratteristiche statistiche sopra riportate si sono ricavati i seguenti grafici.

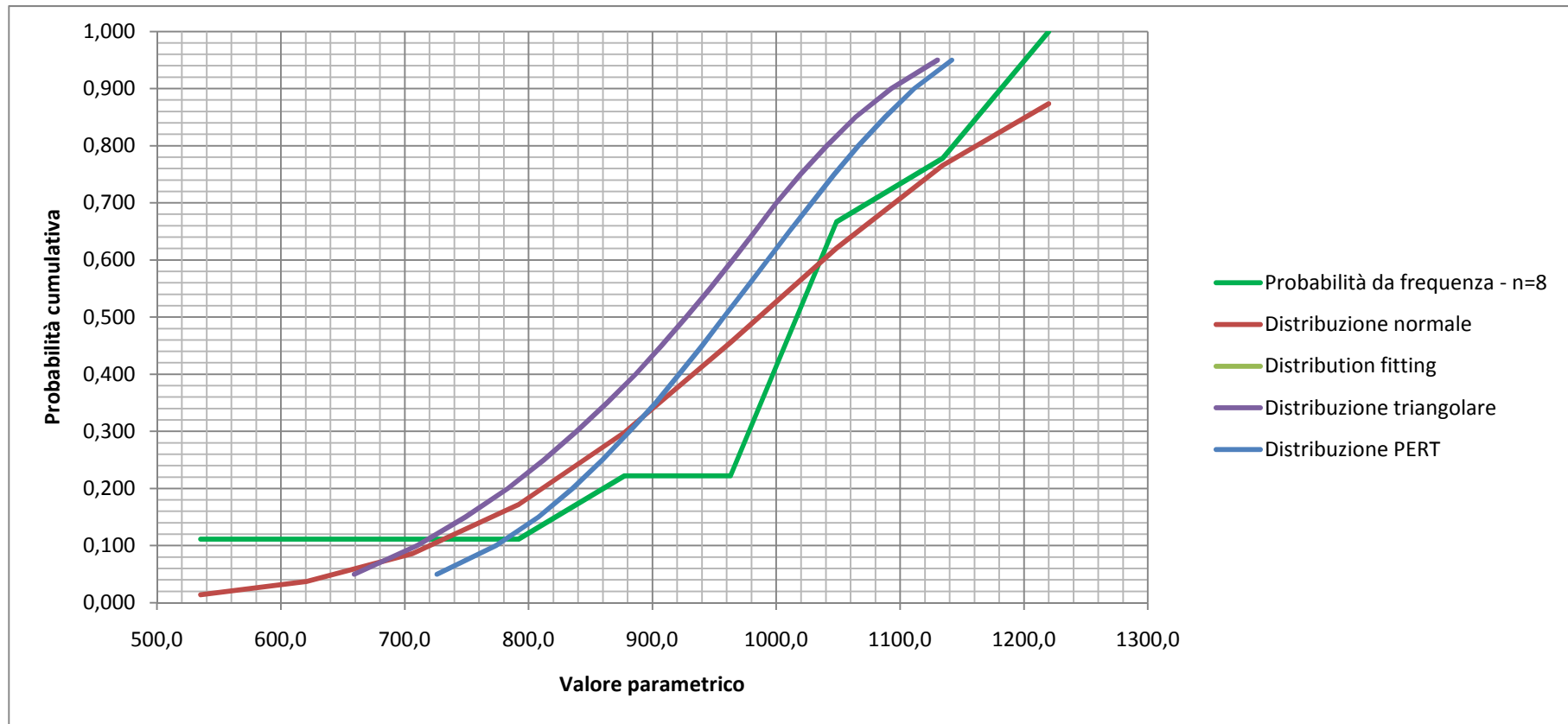
## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



GRAFICI 24-25: ANDAMENTO  $m_4$

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

m <sub>5</sub>					
		Range	Frequenza dei valori nel range	Probabilità cumulativa	Distribuzione normale (Guass)
<b>MAX</b>	3136,5				
<b>min</b>	-841,1	-841,1	1	0,111	0,162
<b>Media</b>	287,0	-45,6	2	0,333	0,386
<b>Deviazione standard</b>	1143,9				
		750,0	5	0,889	0,657
<b>n</b>	5	1545,5	0	0,889	0,864
		2341,0	0	0,889	0,964
		3136,5	1	1,000	0,994

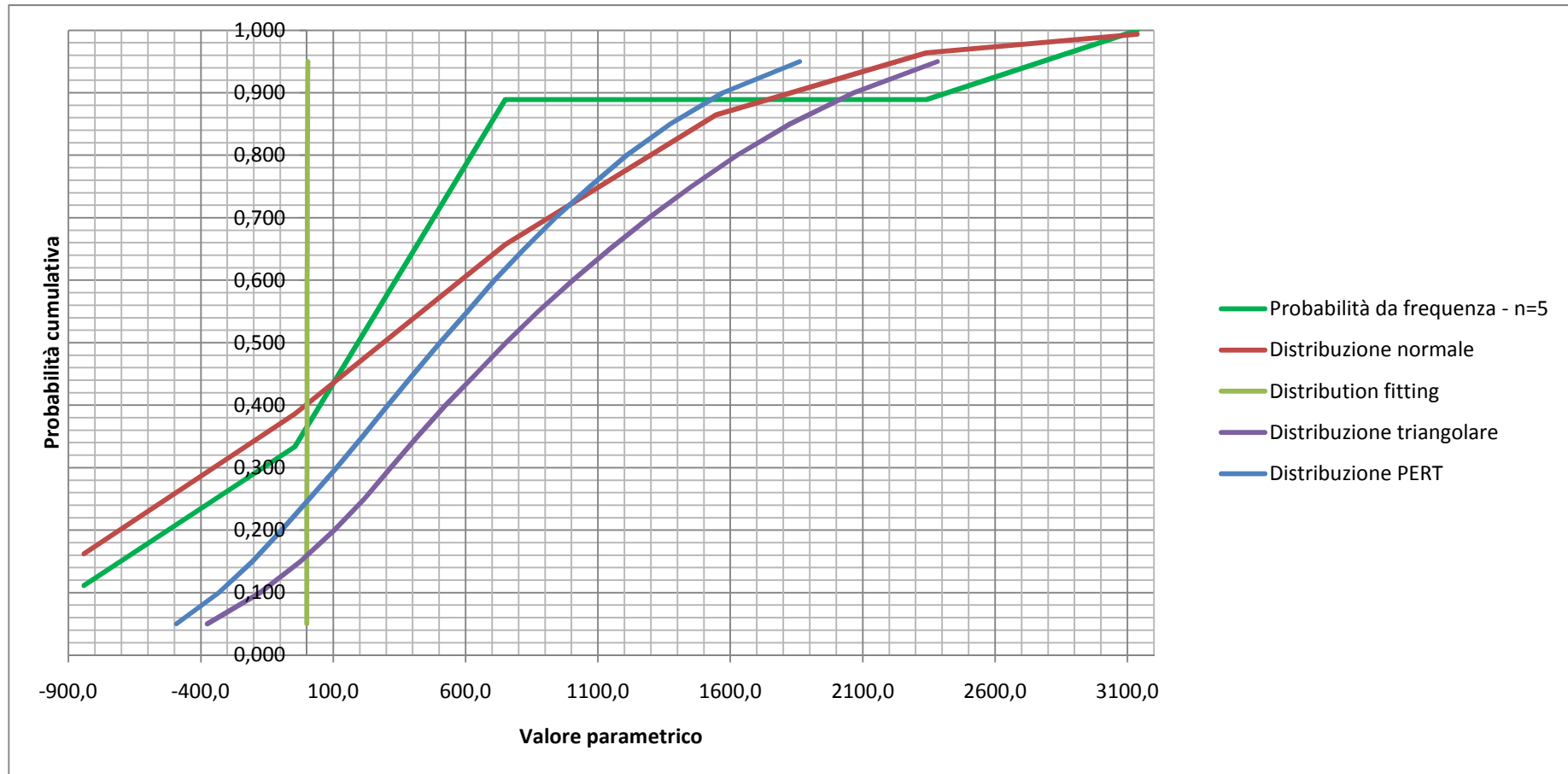
m <sub>5</sub>					
		Range	Frequenza dei valori nel range	Probabilità cumulativa	Distribuzione normale (Guass)
<b>MAX</b>	3136,5				
<b>min</b>	-841,1	-841,1	1	0,111	0,162
<b>Media</b>	287,0	-343,9	1	0,222	0,291
<b>Deviazione standard</b>	1143,9				
		153,3	2	0,444	0,453
<b>n</b>	8	650,5	4	0,889	0,625
		1147,7	0	0,889	0,774
		1644,9	0	0,889	0,882
		2142,1	0	0,889	0,948
		2639,3	0	0,889	0,980
		3136,5	1	1,000	0,994

TABELLA 48: CARATTERISTICHE m<sub>5</sub>

Dalle tabelle recanti le caratteristiche statistiche sopra riportate si sono ricavati i seguenti grafici.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

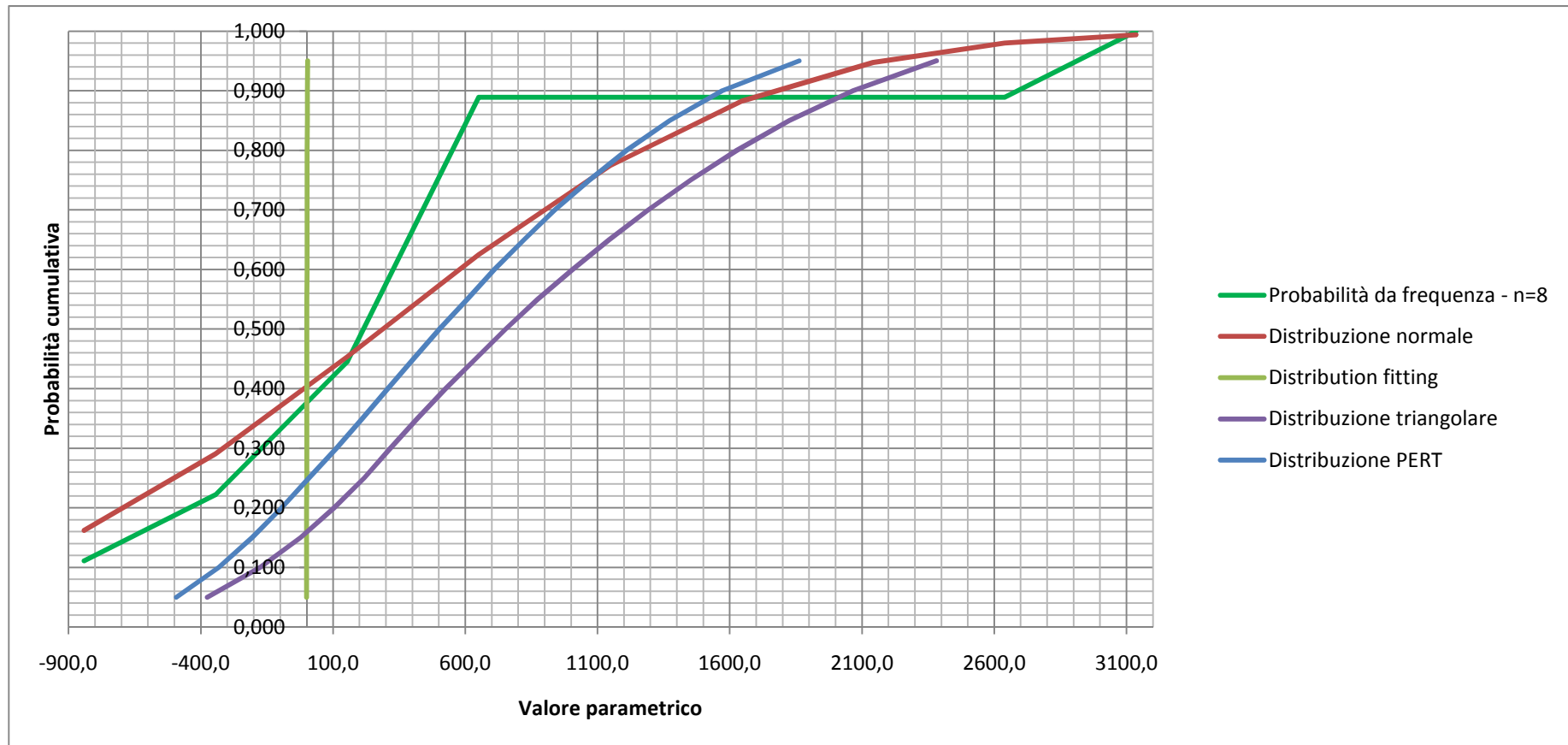
Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari





## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



GRAFICI 26-27: ANDAMENTO  $m_5$

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

m <sub>6</sub>					
		Range	Frequenza dei valori nel range	Probabilità cumulativa	Distribuzione normale (Guass)
<b>MAX</b>	-57,6				
<b>min</b>	-125,2	-125,2	1	0,111	0,178
<b>Media</b>	-106,3	-111,7	4	0,556	0,396
<b>Deviazione standard</b>	20,5				
		-98,2	2	0,778	0,654
<b>n</b>	5	-84,7	1	0,889	0,855
		-71,1	0	0,889	0,957
		-57,6	1	1,000	0,991

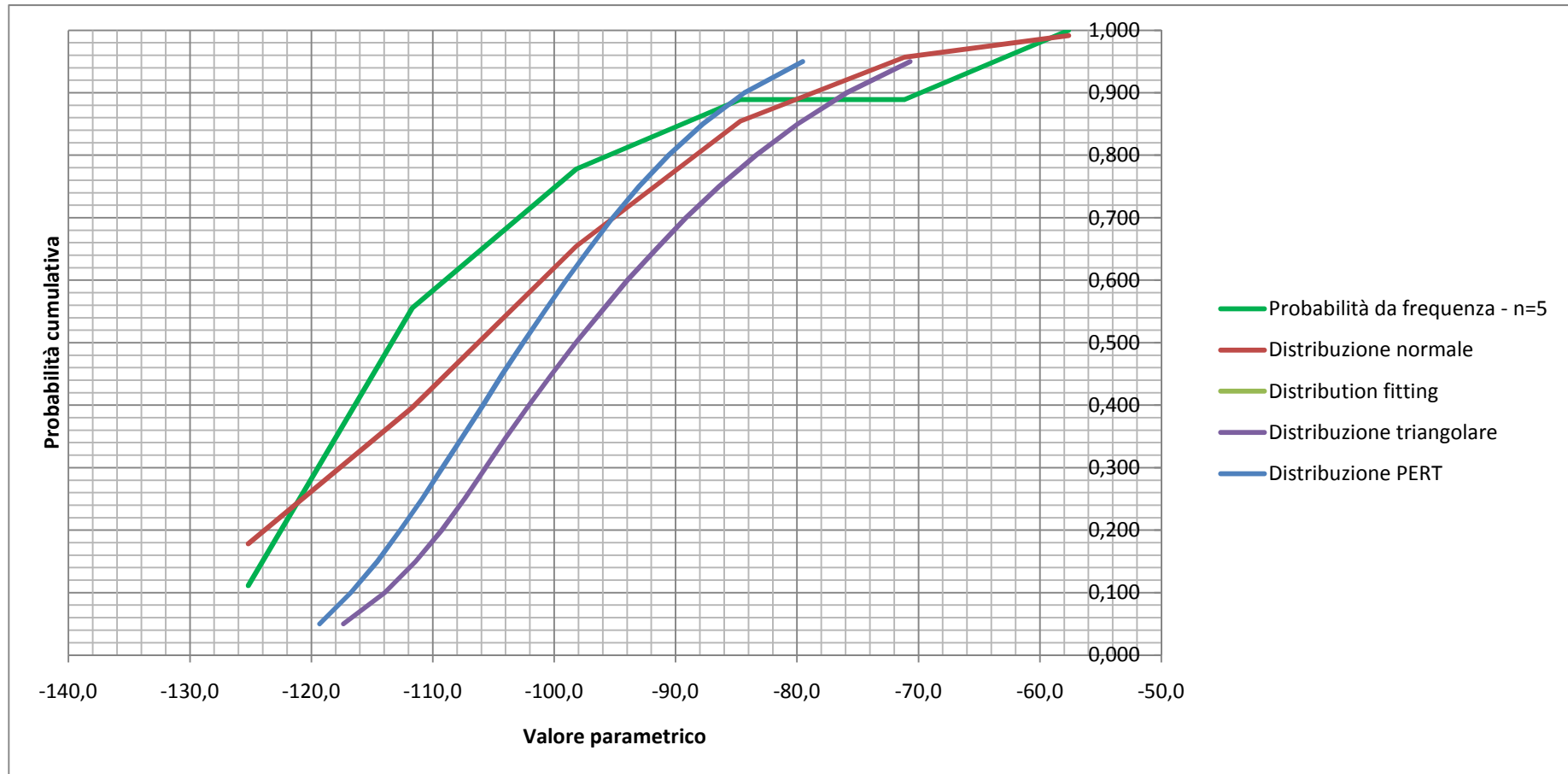
m <sub>6</sub>					
		Range	Frequenza dei valori nel range	Probabilità cumulativa	Distribuzione normale (Guass)
<b>MAX</b>	-57,6				
<b>min</b>	-125,2	-125,2	1	0,111	0,178
<b>Media</b>	-106,3	-116,8	1	0,222	0,305
<b>Deviazione standard</b>	20,5				
		-108,3	4	0,667	0,461
<b>n</b>	8	-99,9	1	0,778	0,623
		-91,4	1	0,889	0,766
		-83,0	0	0,889	0,873
		-74,5	0	0,889	0,940
		-66,1	0	0,889	0,975
		-57,6	1	1,000	0,991

TABELLA 49: CARATTERISTICHE m<sub>6</sub>

Dalle tabelle recanti le caratteristiche statistiche sopra riportate si sono ricavati i seguenti grafici.

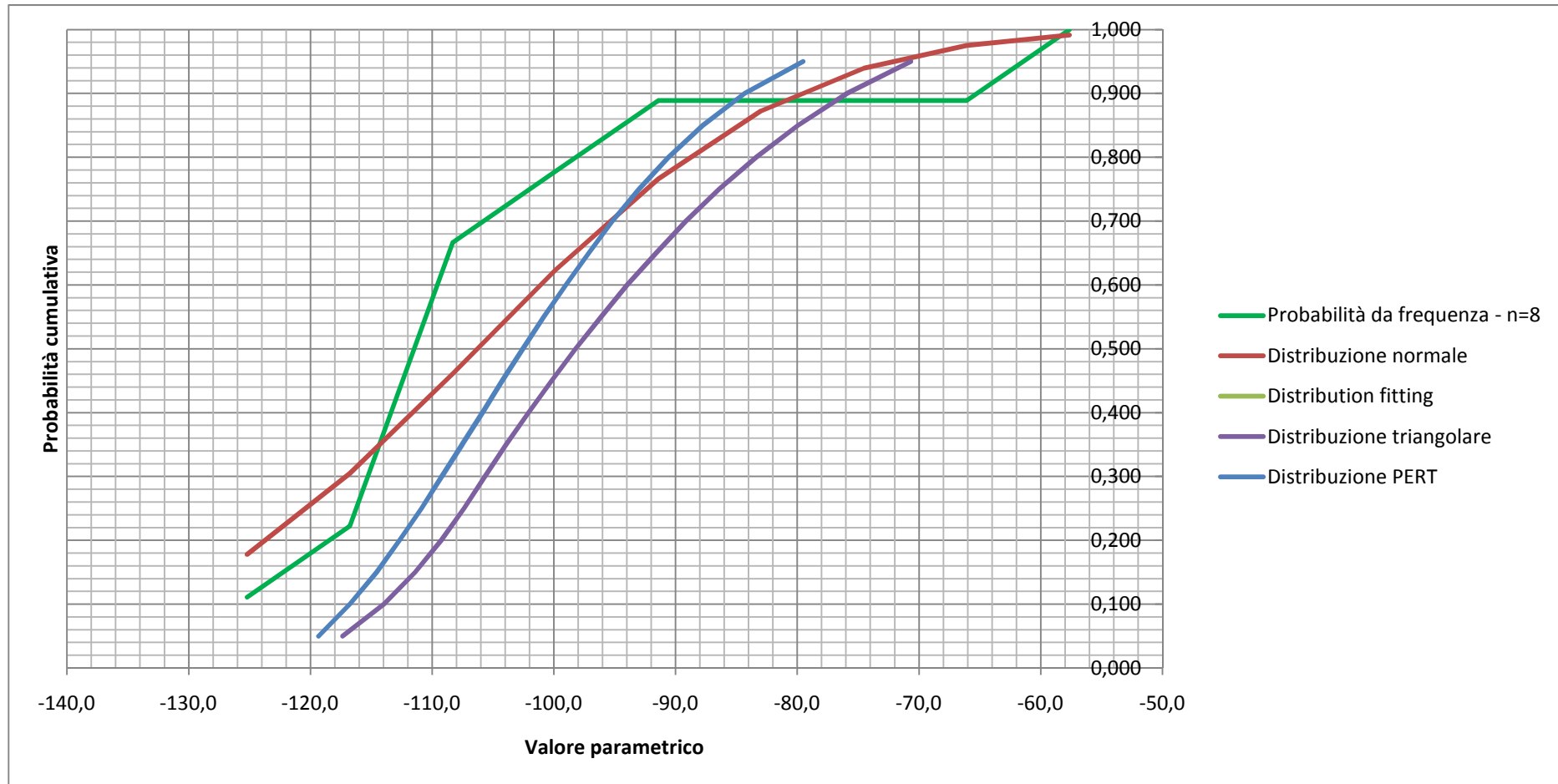
## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



GRAFICI 28-29: ANDAMENTO  $m_6$

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

b					
		Range	Frequenza dei valori nel range	Probabilità cumulativa	Distribuzione normale (Guass)
<b>MAX</b>	310257,8				
<b>min</b>	91802,9	91802,9	1	0,111	0,098
<b>Media</b>	173828,9	135493,9	2	0,333	0,273
<b>Deviazione standard</b>	63365,8				
		179184,9	4	0,778	0,534
<b>n</b>	5	222875,9	0	0,778	0,781
		266566,8	1	0,889	0,928
		310257,8	1	1,000	0,984

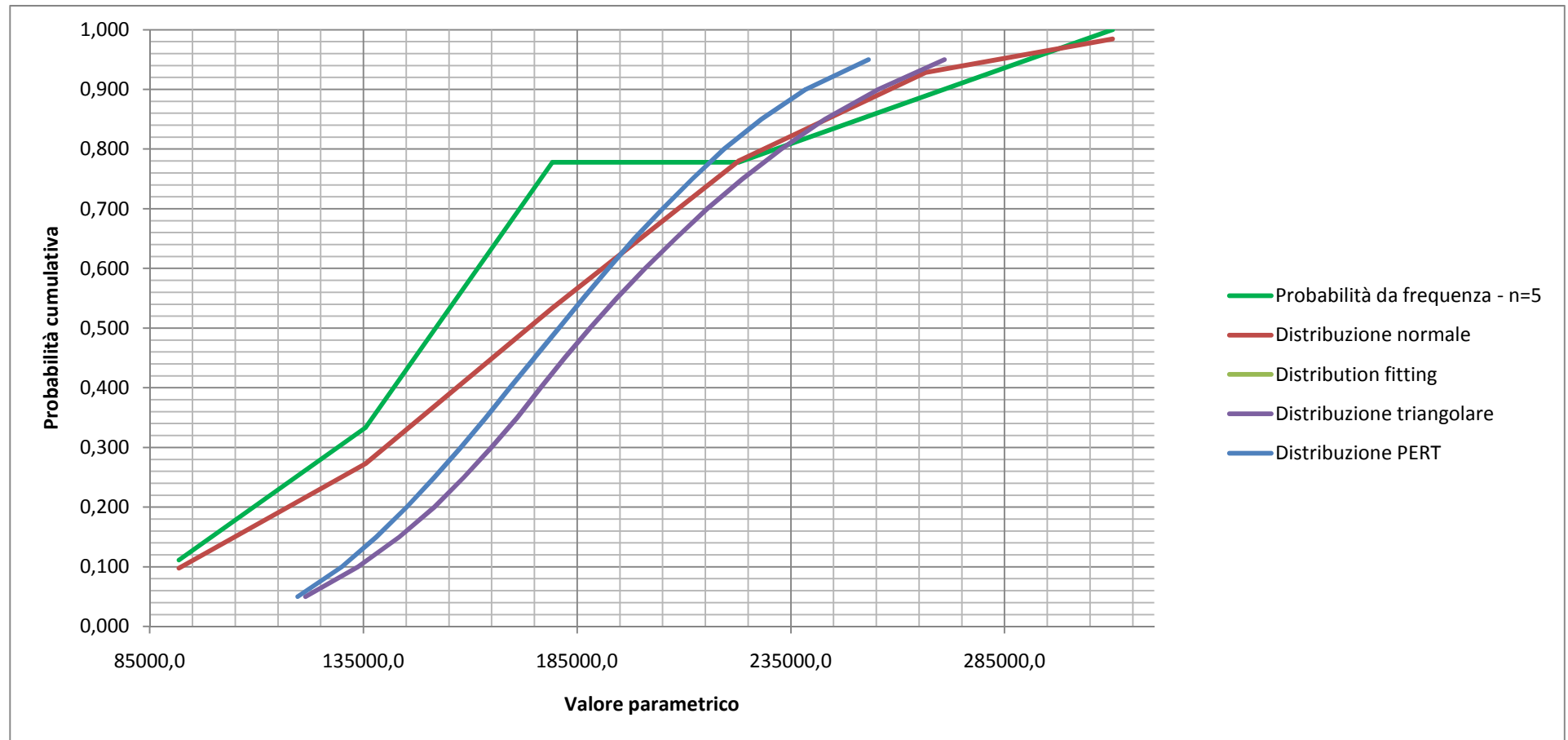
b					
		Range	Frequenza dei valori nel range	Probabilità cumulativa	Distribuzione normale (Guass)
<b>MAX</b>	310257,8				
<b>min</b>	91802,9	91802,9	1	0,111	0,098
<b>Media</b>	173828,9	119109,8	0	0,111	0,194
<b>Deviazione standard</b>	63365,8				
		146416,6	2	0,333	0,333
<b>n</b>	8	173723,5	2	0,556	0,499
		201030,4	2	0,778	0,666
		228337,2	1	0,889	0,805
		255644,1	0	0,889	0,902
		282950,9	0	0,889	0,957
		310257,8	1	1,000	0,984

TABELLA 50: CARATTERISTICHE b

Dalle tabelle recanti le caratteristiche statistiche sopra riportate si sono ricavati i seguenti grafici.

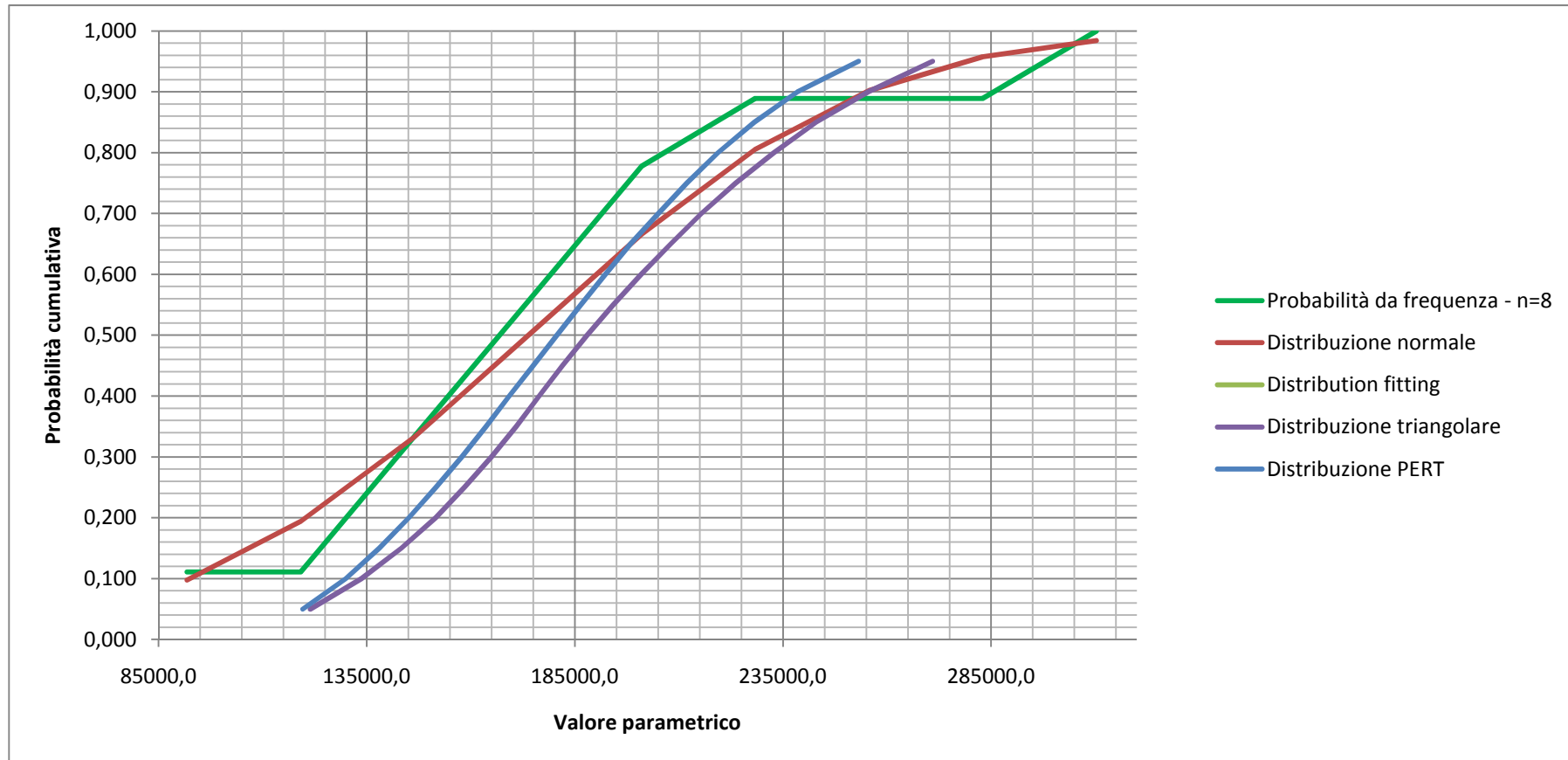
## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari



GRAFICI 30-31: ANDAMENTO b

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

### 4.14 SIMULAZIONI MONTECARLO

Partendo dai valori dei coefficienti di regressione e delle intercette riportati in tabella, si sono individuate le distribuzioni probabilistiche per ogni coefficiente  $m_1, m_2, \dots, m_6$  e  $b$ . Tali distribuzioni di valori descrivono la probabilità che ogni singolo coefficiente possa assumere un valore numerico ben preciso. Le funzioni probabilistiche utilizzate sono state quattro:

- *quella che meglio approssima i valori iniziali ( DISTRIBUTION FITTING).*
- *distribuzione normale*
- *distribuzione triangolare*
- *distribuzione Pert*

PROGETTI	$m_6$	$m_5$	$m_4$	$m_3$	$m_2$	$m_1$	$b$
VILLE UBOLDO	-107,7	-286,8	1126,9	-1162,1	1117,453	845,6	91802,922
VILLA DON ORIONE	-111,8	163,6	998,4	-1401,3	1304,103	811,1	223778,704
VALBRONA	-57,6	3136,5	535,2	-1356,7	1346,671	467,7	310257,802
SIGMA	-125,2	-841,1	1141,2	-1436,3	1294,377	940,2	127418,143
LA DUCALE-CESATE	-93,6	480,0	811,6	-1339,6	1337,769	858,0	174487,842
DELTA-CESATE	-108,4	60,7	1030,6	-1370,0	1266,738	814,5	172158,416
CASALINA	-114,7	186,9	1021,0	-1469,3	1285,611	847,2	159806,641
BELVEDERE-MARIANO COMENSE	-123,6	-501,6	1219,9	-1291,3	1340,766	747,6	129887,882
BRIVIO-MARIANO COMENSE	-114,2	184,8	988,4	-1357,9	1291,639	834,9	174861,974

TABELLA 51: VALORI COEFFICIENTI DI REGRESSIONE E INTERCETTE

Si riportano di seguito due esempi di distribuzioni di probabilità per il Distribution Fitting sui coefficienti  $m_1$  e  $m_3$ ; inoltre, per le altre distribuzioni, si riportano gli esempi che fanno riferimento al coefficiente  $m_1$ .



# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

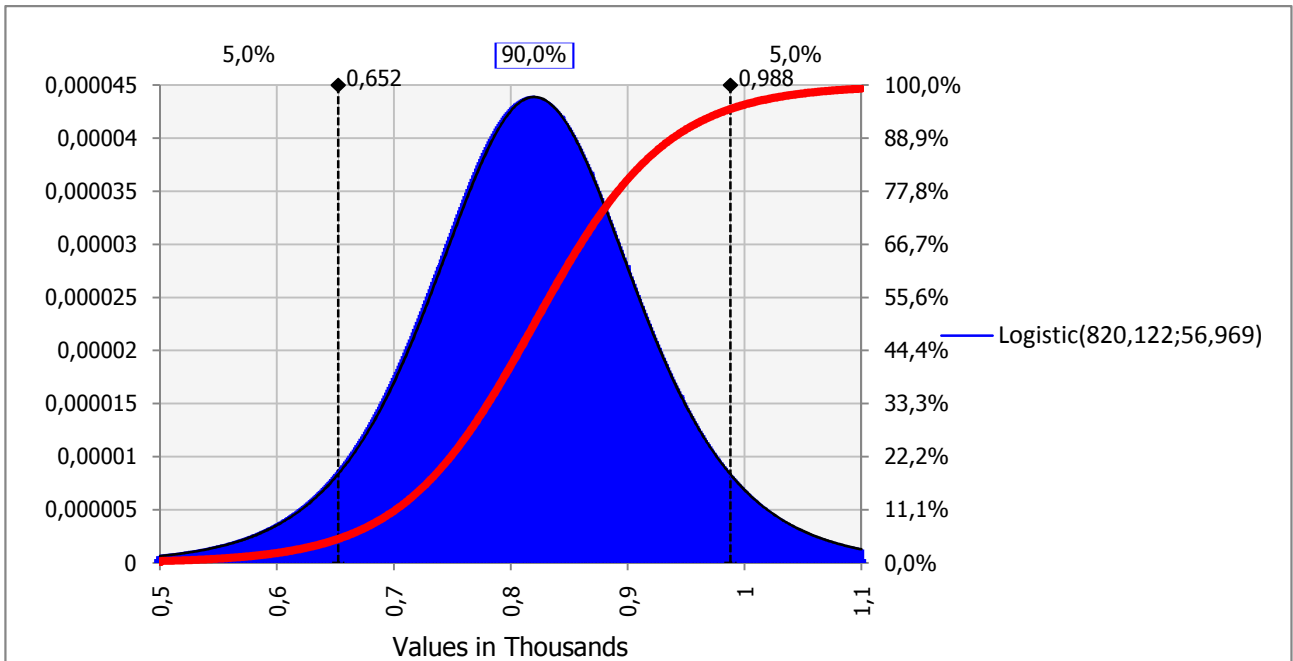


FIGURA 48: DISTRIBUTION FITTING (DISTRIBUZIONE LOGISTICA) COEFFICIENTE  $m_1$

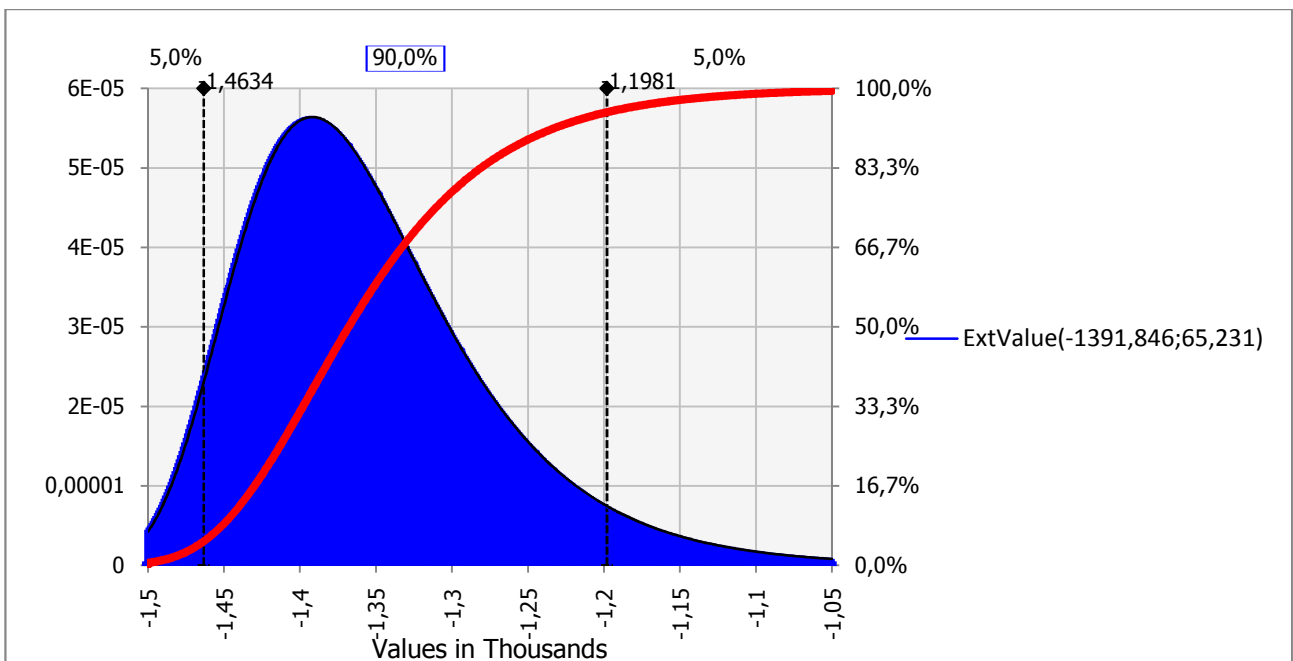


FIGURA 49: DISTRIBUTION FITTING (DISTRIBUZIONE EXTERNAL VALUE) COEFFICIENTE  $m_1$

# STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

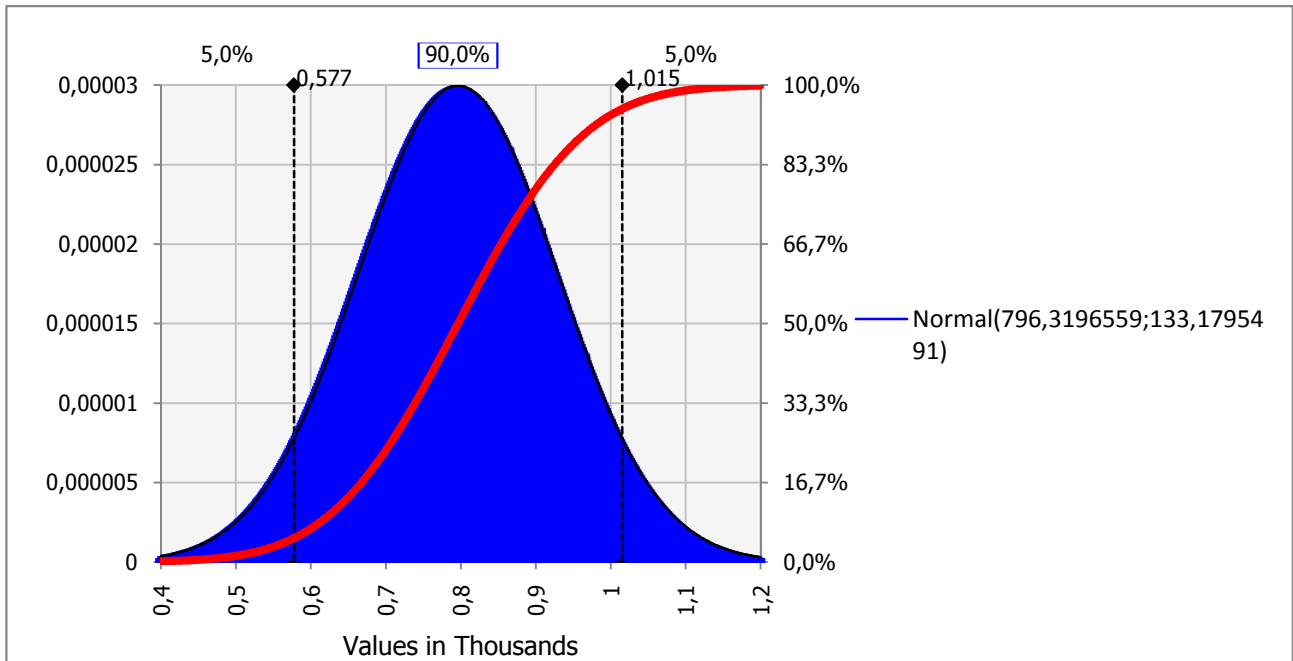


FIGURA 50: DISTRIBUZIONE NORMALE COEFFICIENTE  $m_1$

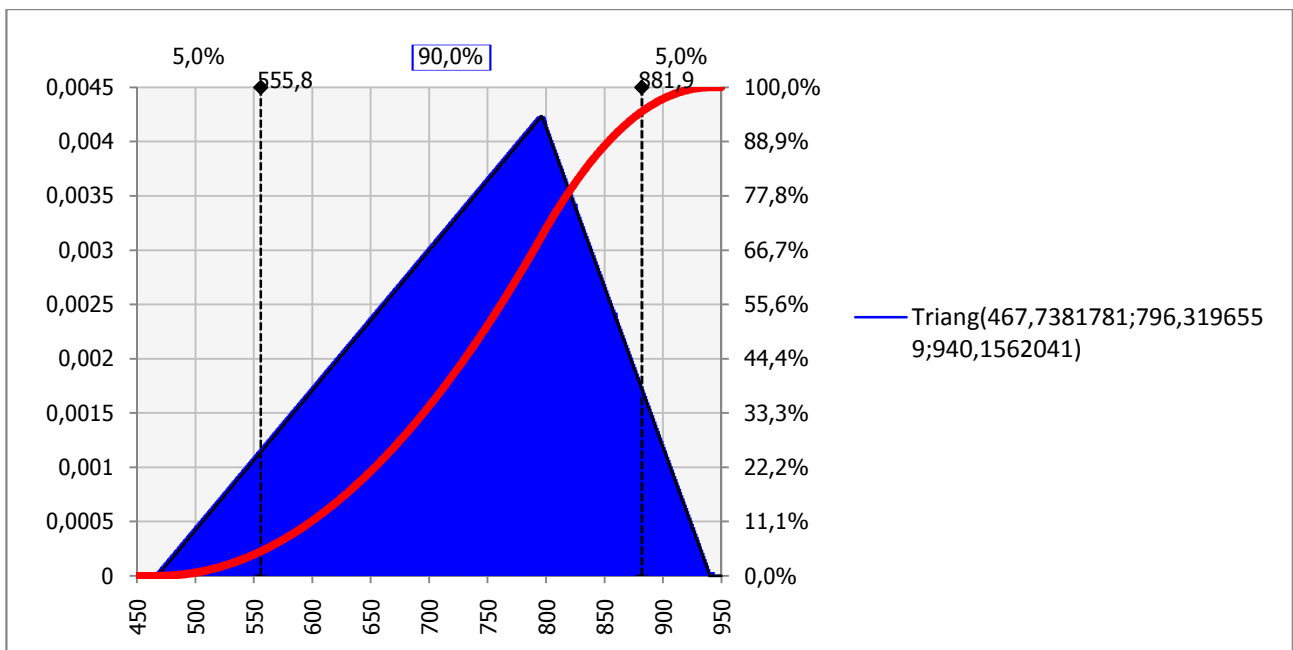


FIGURA 51: DISTRIBUZIONE TRIANGOLARE COEFFICIENTE  $m_1$

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

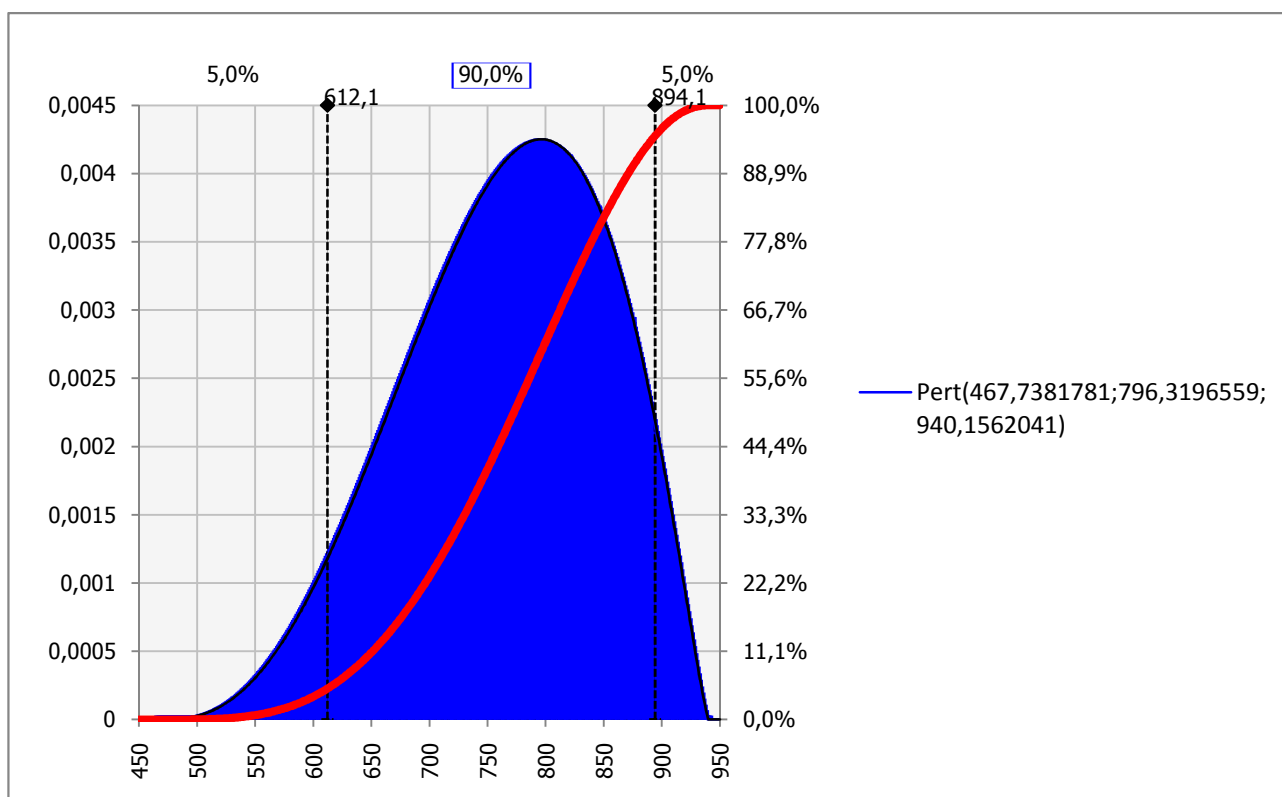


FIGURA 52: DISTRIBUZIONE PERT COEFFICIENTE  $m_1$

Per sviluppare queste distribuzioni di probabilità è stato utilizzato il software Risk®. Come si può notare nel Distribution Fitting il programma seleziona in automatico la funzione di distribuzione che meglio approssima i dati in nostro possesso: per tale motivo per il coefficiente  $m_1$  viene fatta un' approssimazione tramite una distribuzione Logistica, mentre il coefficiente  $m_3$  è utilizzata una funzione di distribuzione di valori esterni. Inoltre, per scelta, ai grafici di distribuzione di probabilità sono state sovrapposte le curve cumulative di probabilità (in rosso).

Nella tabella successiva sono indicati i valori di media che si riferiscono a tutti i coefficienti e all'intercetta, ottenuti per ognuna delle quattro distribuzioni già indicate.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Coefficienti	Distribution Fitting	Distribuzione Normale	Distribuzione Triangolare	Distribuzione PERT
$m_1$	820,12	796,32	734,74	765,53
$m_2$	1298,96	1287,24	1250,45	1268,84
$m_3$	-1354,19	-1353,84	-1328,43	-1341,14
$m_4$	1013,94	985,90	913,65	949,78
$m_5$	235,13	286,99	860,80	573,90
$m_6$	-107,30	-106,30	-96,38	-101,34
$b$	173307,70	173828,93	191963,22	182896,07

TABELLA 52: VALORI MEDI DEGLI  $m$  E  $b$

Tali valori sono stati utilizzati nella seguente formula matematica al posto dei coefficienti:

$$P(C(x_n)) = P(m_1) \cdot x_1 + P(m_2) \cdot x_2 + \dots + P(m_6) \cdot x_6 + P(b)$$

mentre le variabili indipendenti si riferiscono sempre ai parametri di riferimento di progetto, per intenderci quelli presenti nella tabella sottostante:

	A2.1	A2.3	A3.3	A5.1	A5.2	A6.2
	$m^2$	$m^2$	$m^2$	$m^2$	$m^2$	$m^3$
Ville Uboldo	899	923	121	963	111	3616
Vila Don Orione	361	40	0	346	62	1241
Valbrona	1743	873	552	1500	275	4914
Sigma	2505	1965	1363	4737	1284	13836
Delta Cesate	4446	2920	1148	3715	668	19188
Casalina	2357	1171	489	2347	372	8712
Belvedere Mariano Comense	6037	6203	2392	7721	1299	24868
Brivio Mariano Comense	5035	2514	743	4867	985	15803
Ducale Cesate	1998	1092	382	2004	312	10208

TABELLA 53: PARAMETRI DI PROGETTO

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Una volta ottenuta la predizione dei costi per ogni progetto e per ogni distribuzione, si è proceduto con una simulazione Montecarlo sui costi stessi ( una simulazione da 5000 interazioni). Questo permette di ottenere un range di valori di costo a cui corrispondono le probabilità che esso si verifichi

Costo Totale (€)	Distribution Fitting	Distribuzione Normale	Distribuzione Triangolare	Distribuzione PERT
Ville Uboldo	2559706	2510431	2472399	2491415
Vila Don Orione	754318	740526	757901	749214
Valbrona	3047753	2973838	2964606	2969222
Sigma	6554483	6420435	6778752	6599593
Delta Cesate	7922246	7732734	7704027	7718381
Casalina	4497436	4390454	4362849	4376652
Belvedere Mariano Comense	15408352	15069010	14982317	15025664
Brivio Mariano Comense	10032488	9814343	9819189	9816766
Ducale Cesate	3722714	3633224	3633598	3633411

TABELLA 54: MEDIA DELLA PREDIZIONE DEI COSTI

Per esempio si prenda il caso riguardante il progetto La Ducale Cesate: nel caso di Distribution Fitting, si ottiene un valore medio di costo pari a 3.722.714 €, con una probabilità molto vicina al 50%. Poichè per scelta di studio, si considera come percentile massimo di probabilità di costo quello pari al 70 % e come percentile minimo quello pari al 30 %, è possibile dire, in osservanza al grafico sotto riportato, che il costo minimo è pari a 3.444.161 €, quello massimo a 3.983.486 €.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

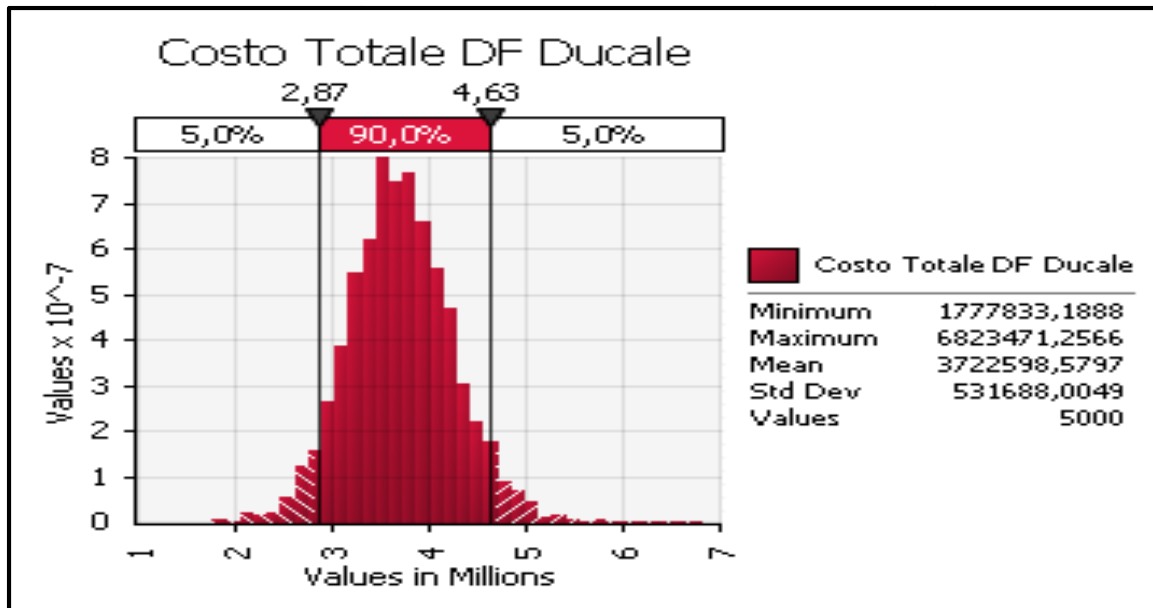


FIGURA 53: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO PROGETTO DUCALE CESATE (DISTRIBUTION FITTING)

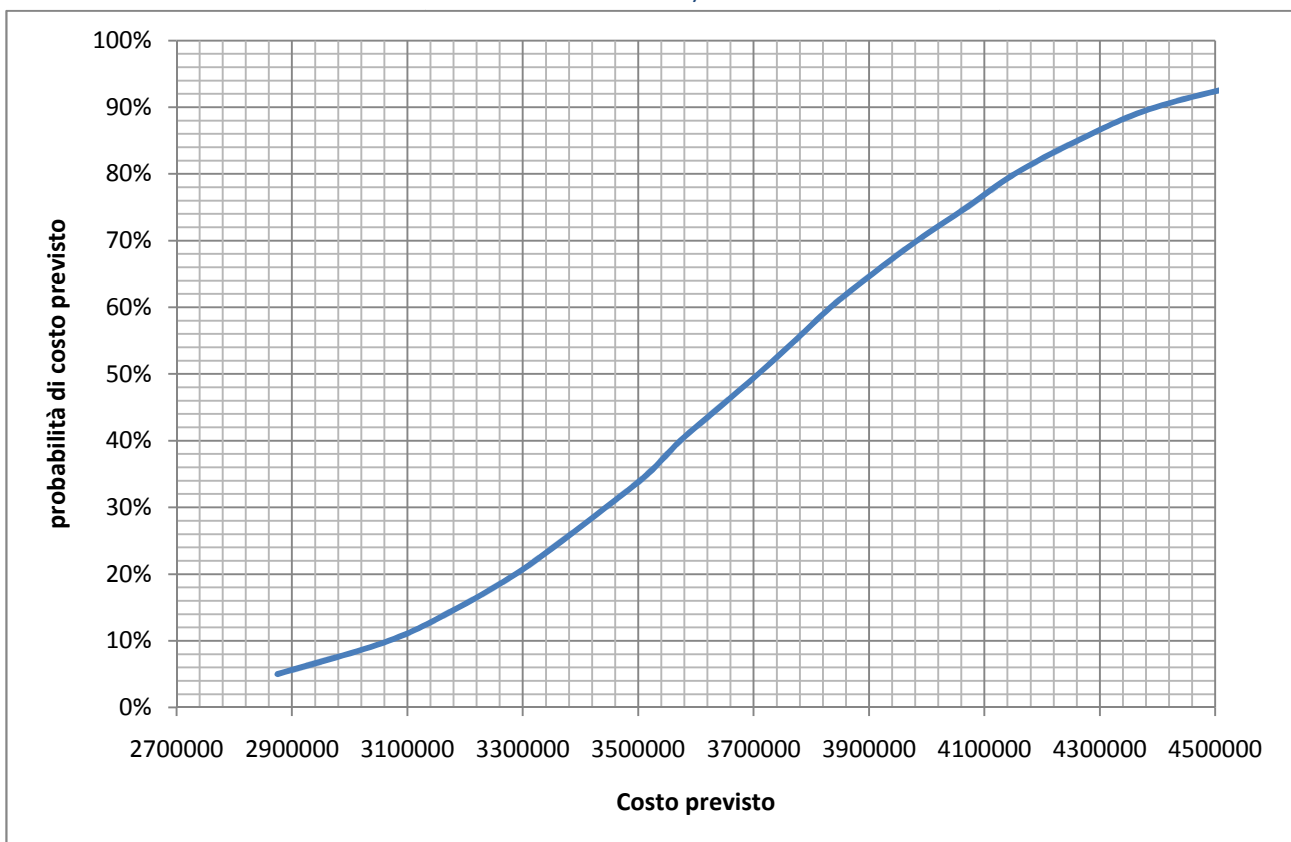


GRAFICO 32 :DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' DEI COSTI DI LA DUCALE CESATE (DISTRIBUTION FITTING))

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Percentile	
5%	2874994
10%	3068096
15%	3188493
20%	3287624
25%	3368381
30%	3444161
35%	3516599
40%	3573135
45%	3640646
50%	3708077
55%	3771658
60%	3833427
65%	3905856
70%	3983486
75%	4069788
80%	4152537
85%	4262142
90%	4396294
95%	4626536

TABELLA 55: PERCENTILI PROGETTO LA DUCALE CESATE

Sullo stesso progetto di La Ducale Cesate si possono fare analoghe considerazioni in base alle risultanze ottenute mediante lo studio dei grafici di seguito riportati.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

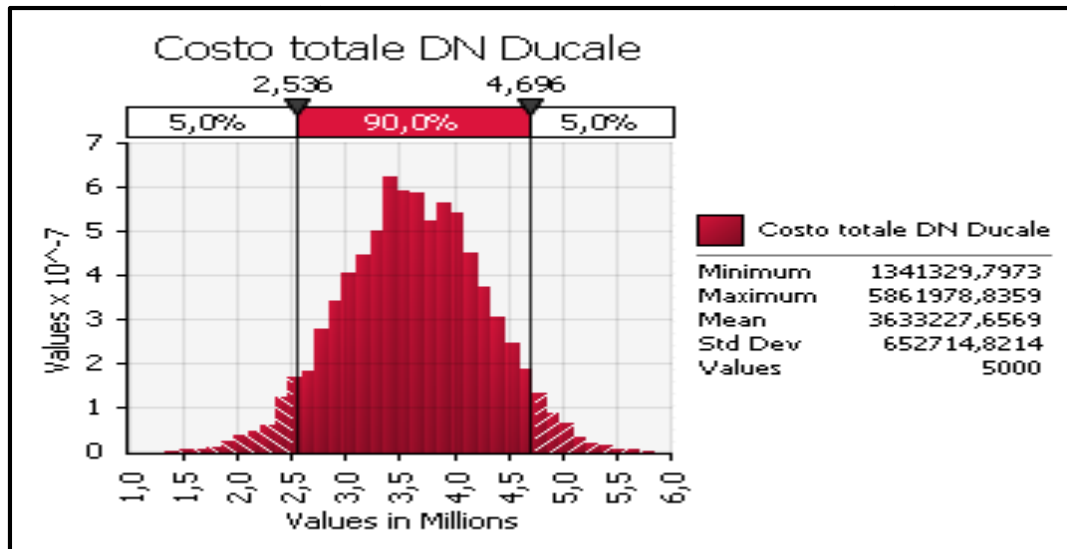


FIGURA 54: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO PROGETTO LA DUCALE CESATE (NORMALE)

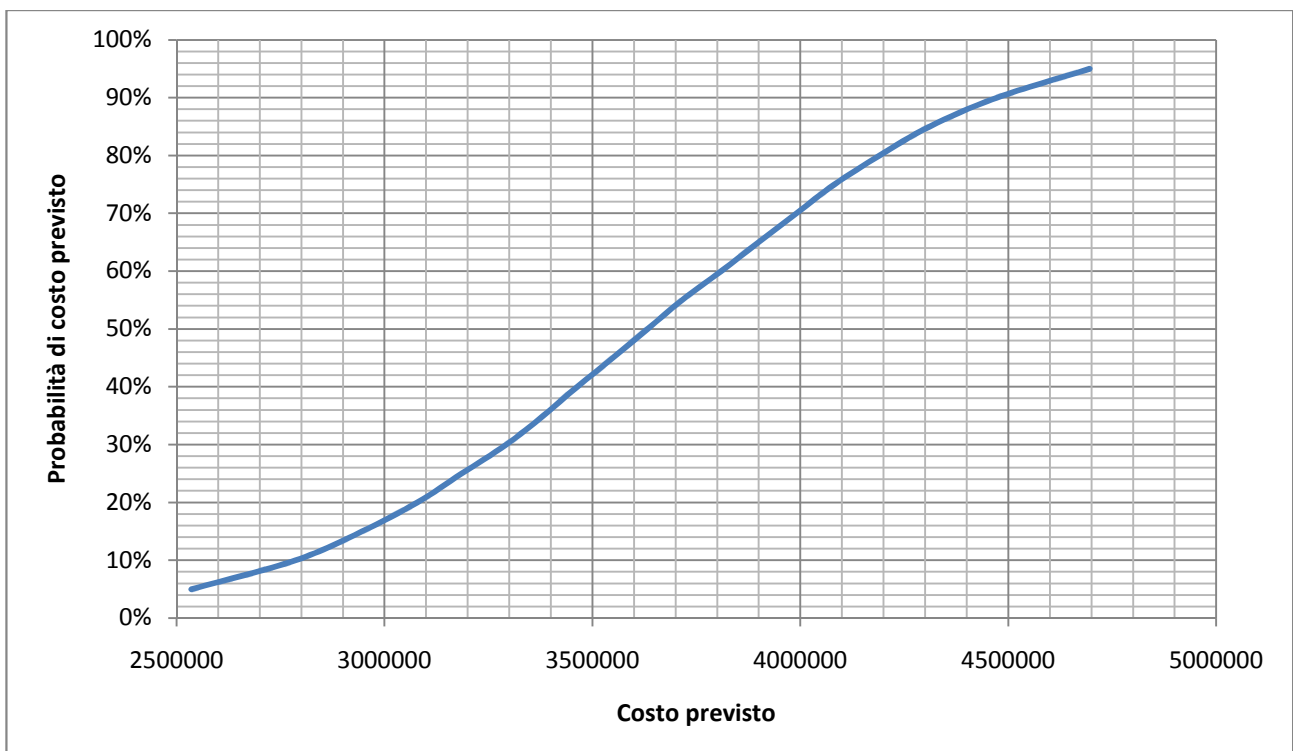


GRAFICO 33: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO DI LA DUCALE CESATE (NORMALE)



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Percentile	
5%	2535654
10%	2785700
15%	2945990
20%	3078575
25%	3185561
30%	3292555
35%	3381613
40%	3463142
45%	3548871
50%	3632554
55%	3715416
60%	3809365
65%	3899621
70%	3990507
75%	4081907
80%	4190110
85%	4310391
90%	4472328
95%	4695717

TABELLA 56: PERCENTILI PROGETTO LA DUCALE CESATE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

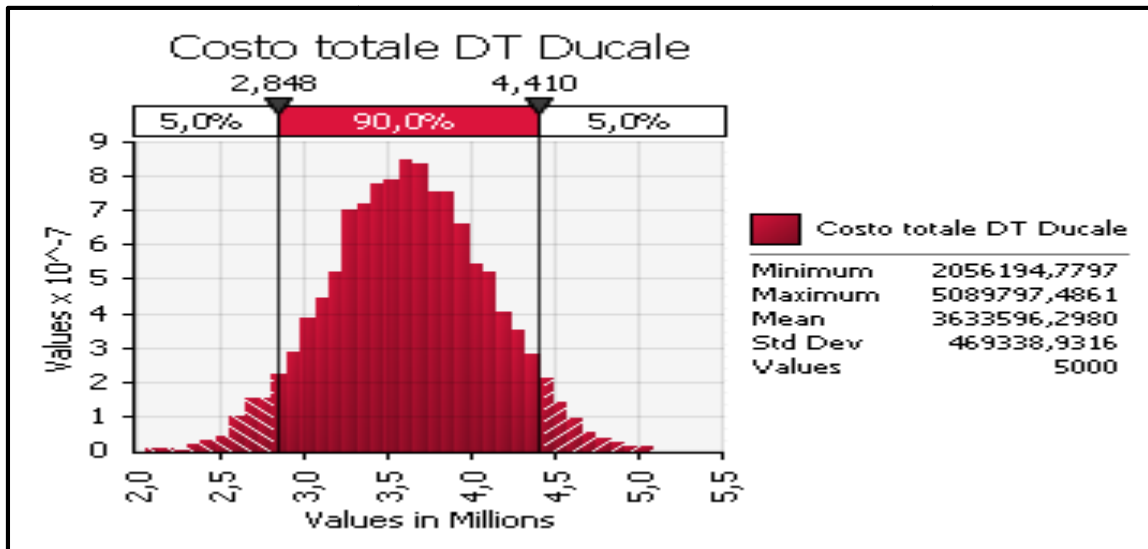


FIGURA 55: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO PROGETTO LA DUCALE CESATE (TRIANGOLARE)

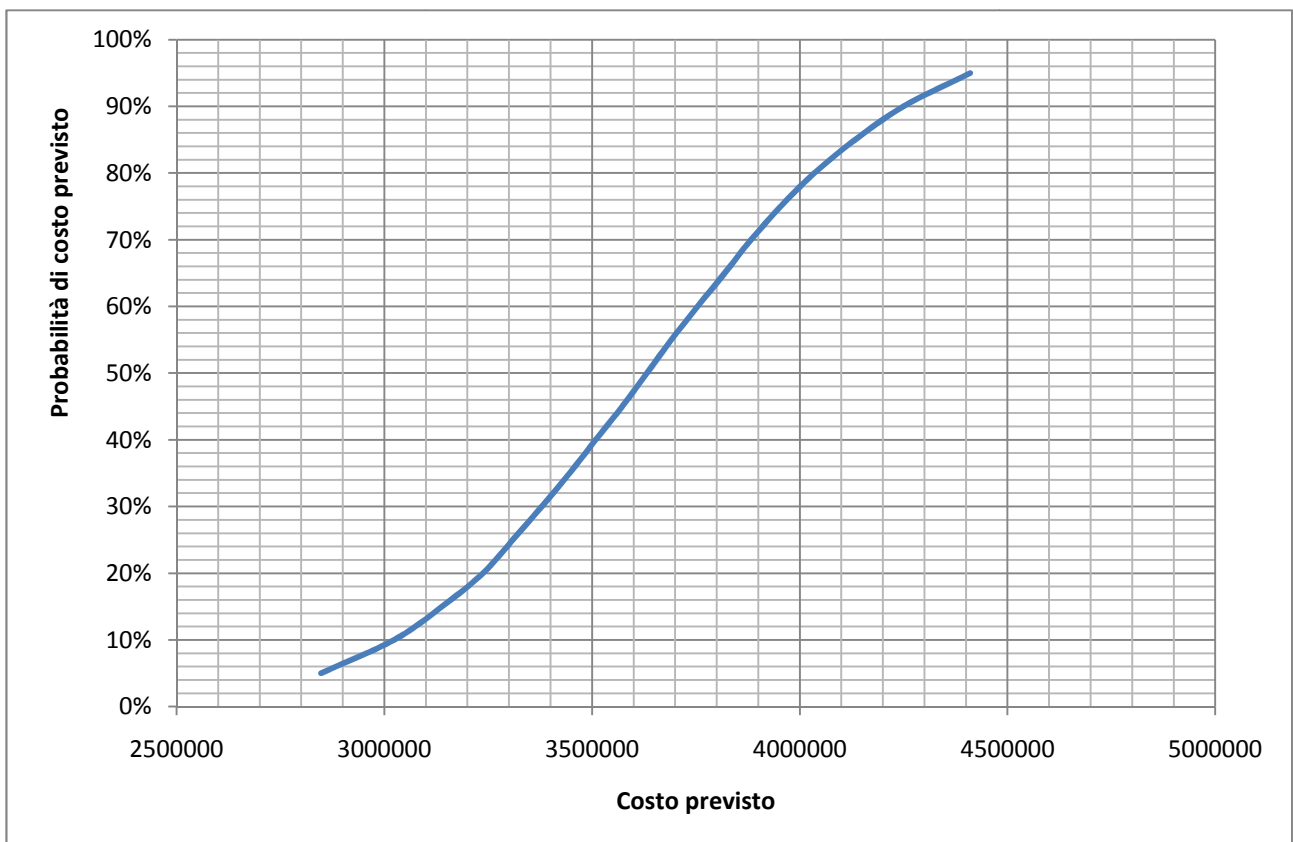


GRAFICO34: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO LA DUCALE CESATE (TRIANGOLARE)

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Percentile	
5%	2847817
10%	3023705
15%	3139050
20%	3237687
25%	3309351
30%	3379281
35%	3445980
40%	3508974
45%	3572962
50%	3632034
55%	3690779
60%	3753856
65%	3819337
70%	3882677
75%	3953966
80%	4035154
85%	4133190
90%	4249229
95%	4410120

TABELLA 57: PERCENTILI PROGETTO LA DUCALE CESATE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

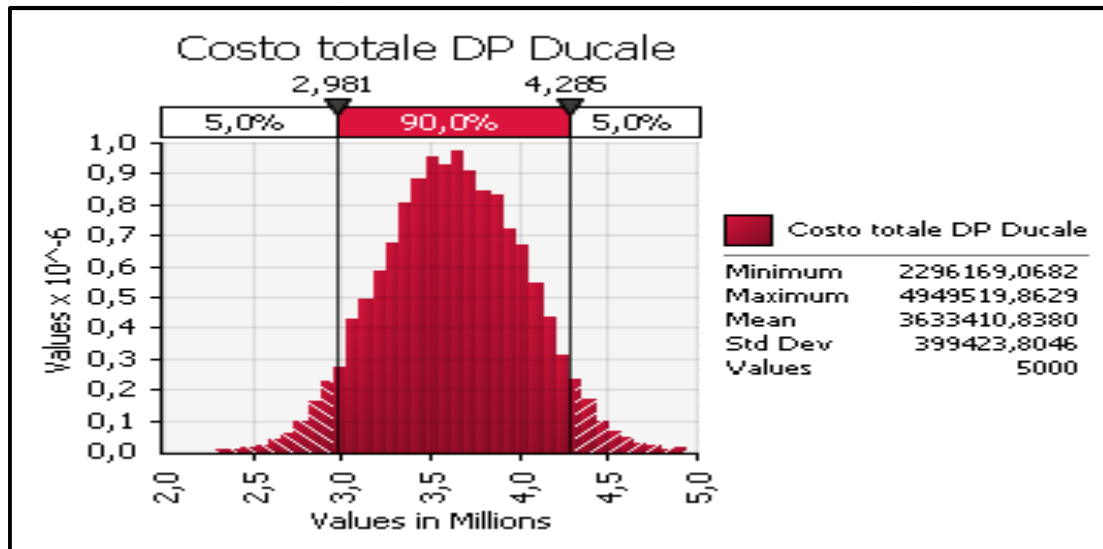


FIGURA 56: DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' DI COSTO PROGETTO LA DUCALE CESATE(PERT)

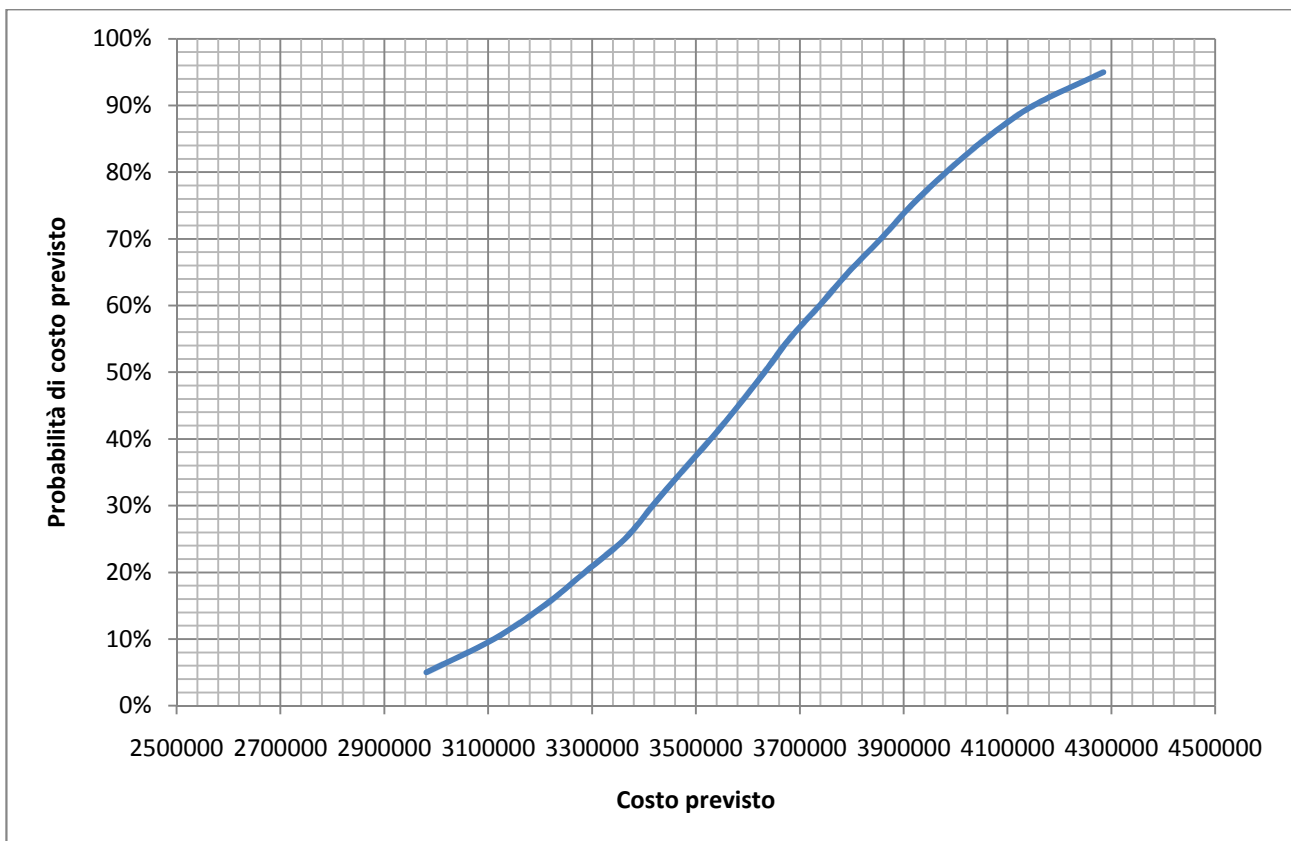


GRAFICO 35: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO PROGETTO LA DUCALE CESATE(PERT)

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Percentile	
5%	2980763
10%	3110862
15%	3207600
20%	3285881
25%	3363017
30%	3416500
35%	3471792
40%	3528637
45%	3581924
50%	3632083
55%	3679847
60%	3738202
65%	3793842
70%	3855958
75%	3914421
80%	3981974
85%	4057983
90%	4149886
95%	4284761

TABELLA 58: PERCENTILI PROGETTO LA DUCALE CESATE

La stessa analisi la si può fare su un altro progetto, che per caratteristiche è leggermente dissimile a tutti gli altri progetti fin qui visti essendo di dimensioni molto più esigue .

Vengono riportati i grafici e i risultati per il progetto Villa Don Orione.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

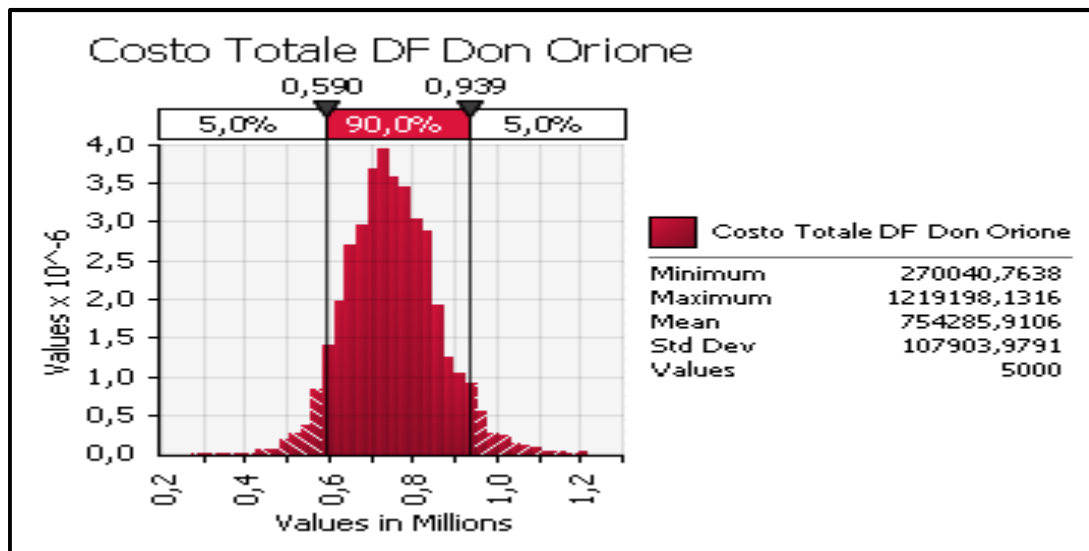


FIGURA 57: DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' DI COSTO VILLA DON ORIONE(DISTRIBUTION FITTING)

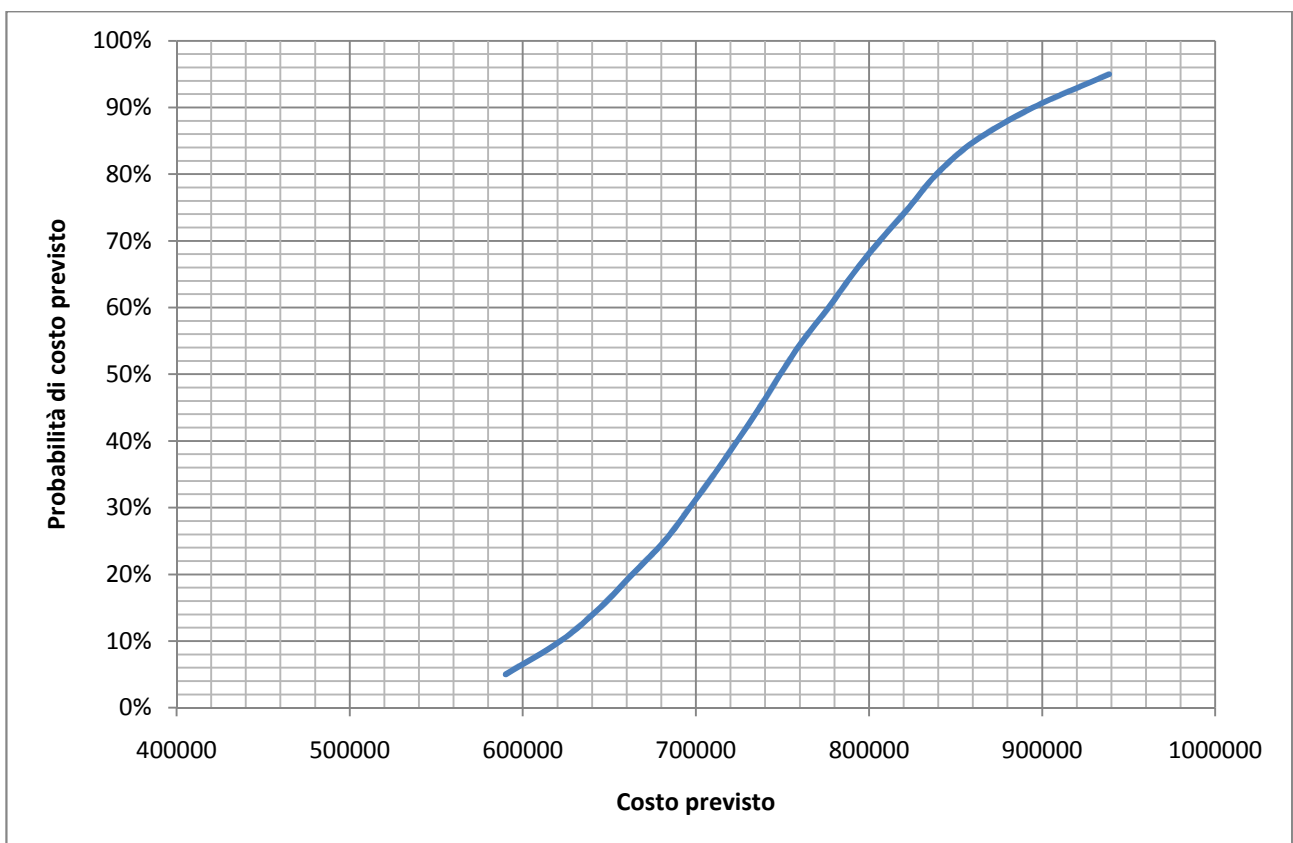


GRAFICO36: DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' DI COSTO VILLA DON ORIONE(DISTRIBUTION FITTING)

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Percentile	
5%	590179
10%	621826
15%	644666
20%	663293
25%	681877
30%	696504
35%	710521
40%	723842
45%	736712
50%	748752
55%	761584
60%	776548
65%	790604
70%	806084
75%	823033
80%	838964
85%	861187
90%	894690
95%	938653

TABELLA 59: PERCENTILI VILLA DON ORIONE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

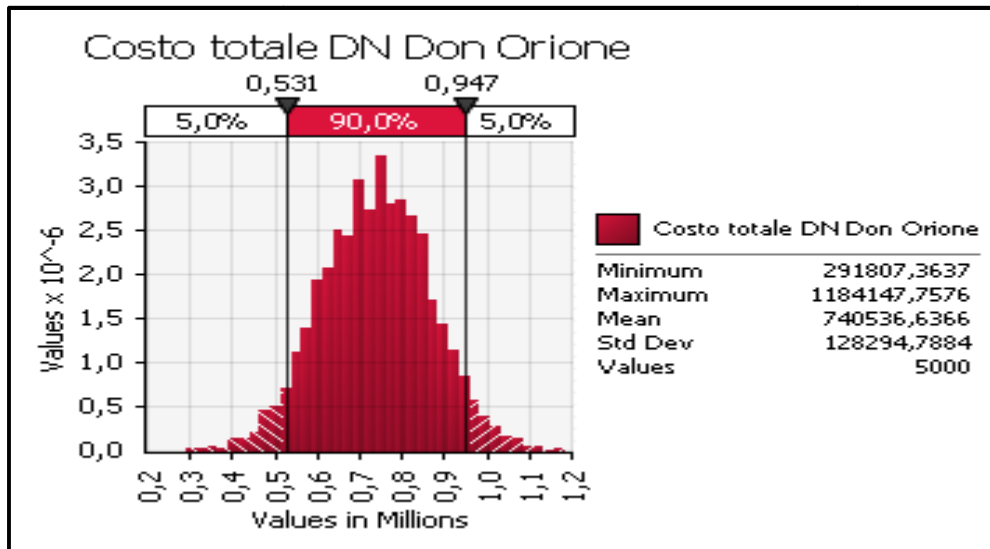


FIGURA 58: DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' DI COSTO VILLA DON ORIONE( NORMALE)

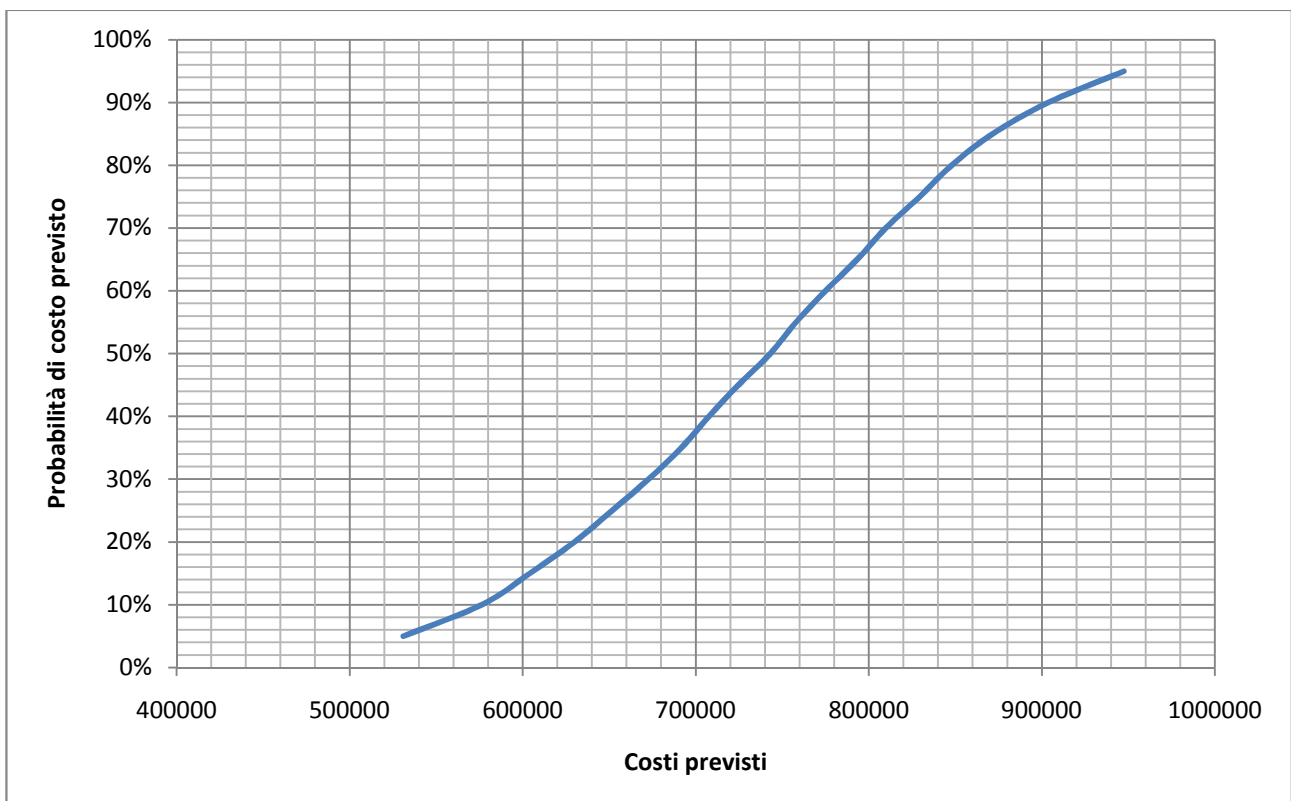


GRAFICO 37: DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' DI COSTO VILLA DON ORIONE(NORMALE)



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Percentile	
5%	531056
10%	576325
15%	604163
20%	629901
25%	651709
30%	672709
35%	691704
40%	707624
45%	724610
50%	743080
55%	757937
60%	774958
65%	793294
70%	809782
75%	829388
80%	847852
85%	871501
90%	903654
95%	947434

TABELLA 60: PERCENTILI VILLA DON ORIONE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

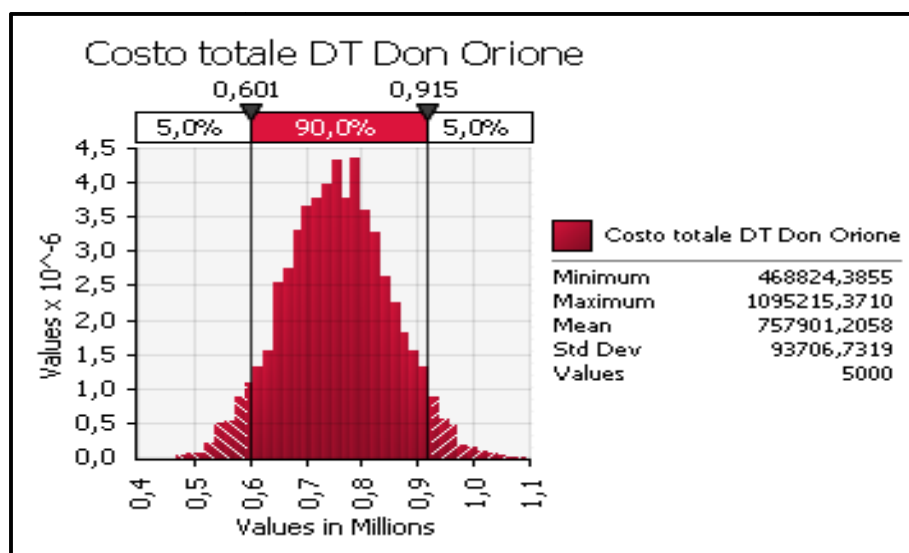


FIGURA 59: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO VILLA DON ORIONE (TRIANGOLARE)

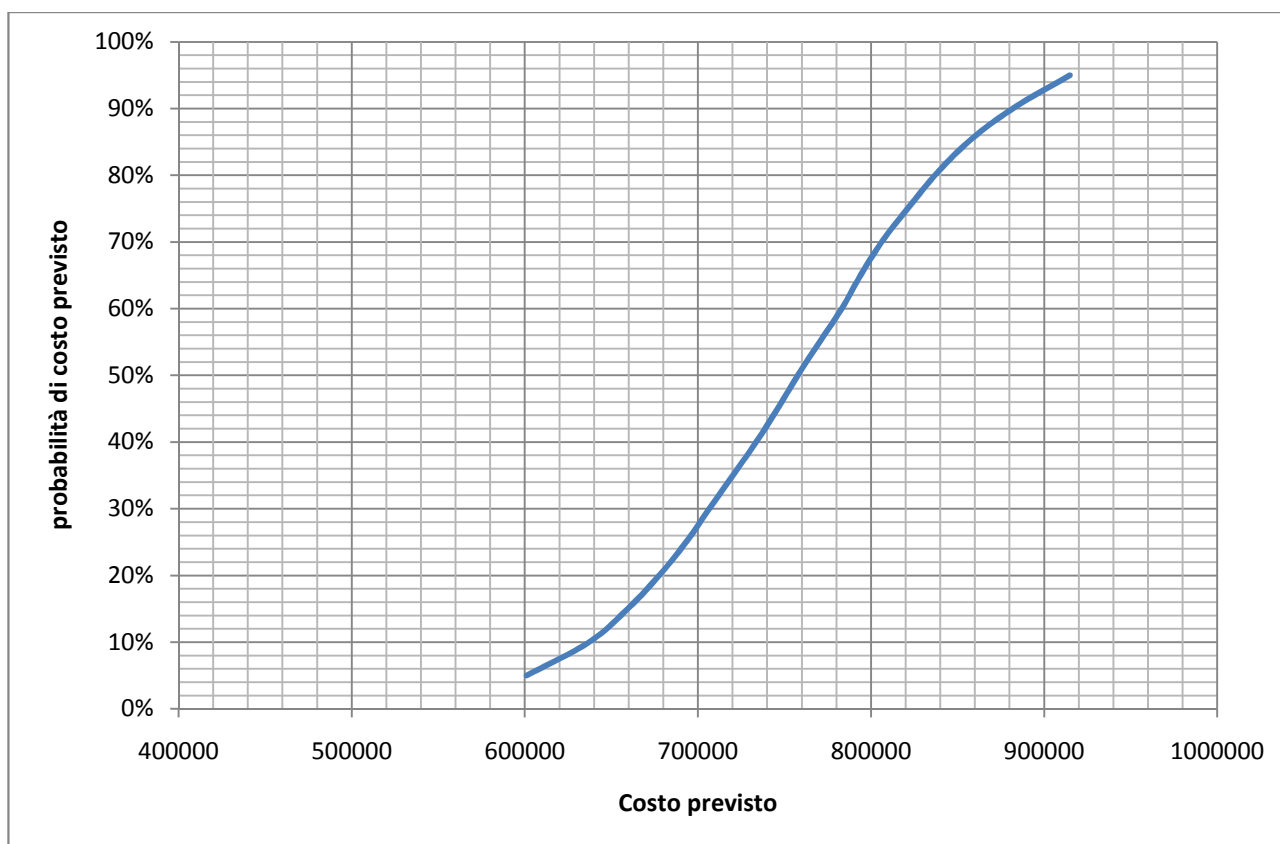


GRAFICO 38: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO VILLA DON ORIONE (TRIANGOLARE)

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Percentile	
5%	600978
10%	637143
15%	659472
20%	677600
25%	693170
30%	706561
35%	720198
40%	733585
45%	746028
50%	757674
55%	770259
60%	783040
65%	793922
70%	806132
75%	821144
80%	836963
85%	856135
90%	881778
95%	914920

TABELLA 61: PERCENTILI VILLA DON ORIONE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

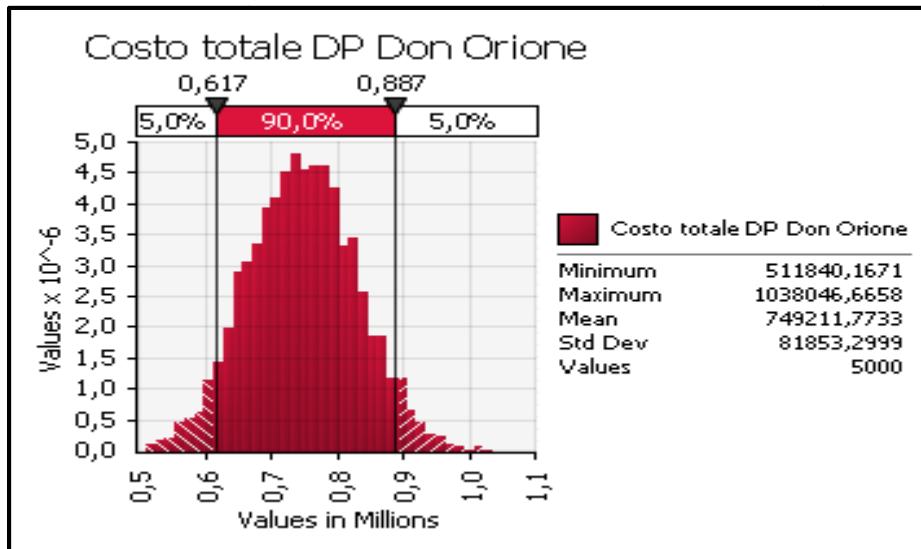


FIGURA 60: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO VILLA DON ORIONE(PERT)

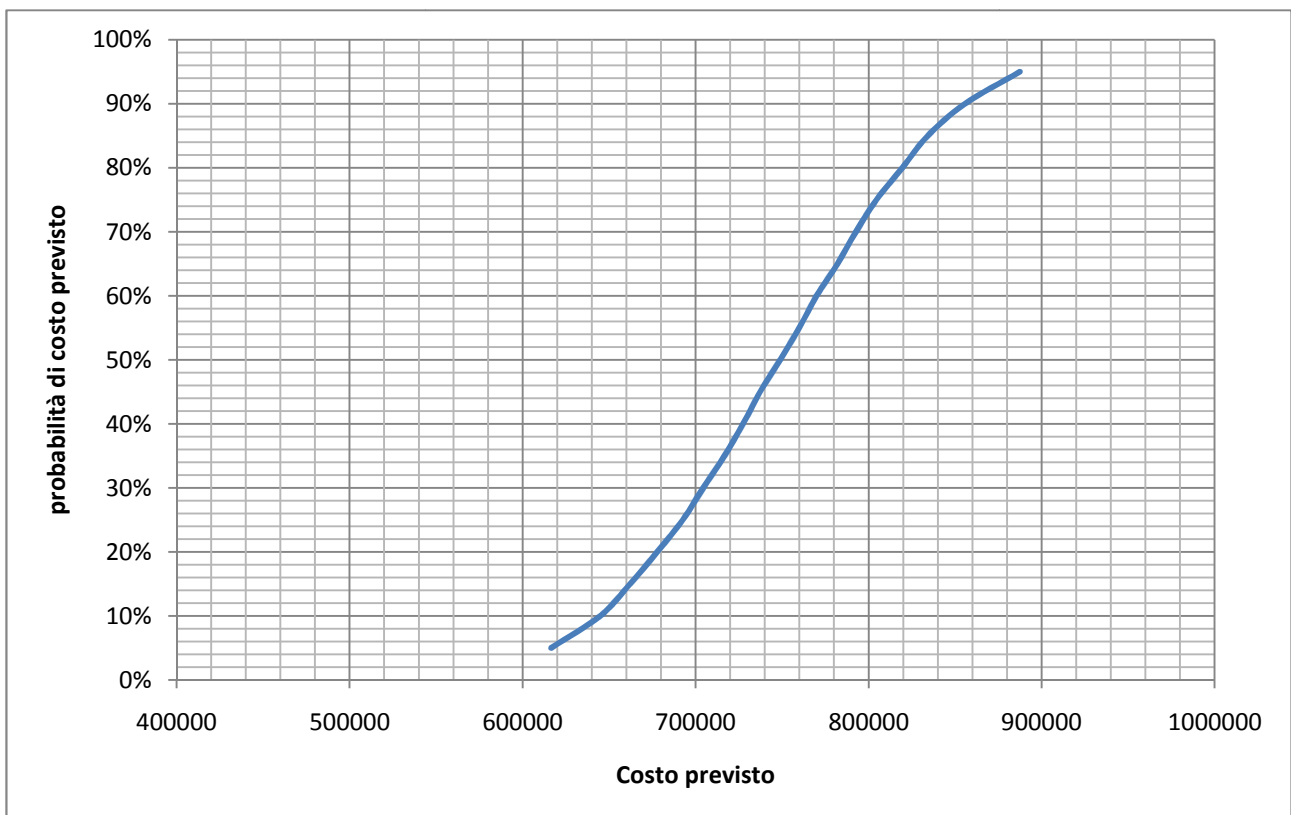


GRAFICO 39: DISTRIBUZIONE PROBABILITA' DI COSTO VILLA DON ORIONE(PERT)

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Percentile	
5%	616520
10%	644890
15%	662092
20%	677826
25%	692547
30%	704376
35%	716607
40%	727390
45%	737242
50%	748892
55%	759869
60%	769907
65%	781954
70%	792599
75%	804459
80%	819413
85%	834114
90%	855608
95%	887337

TABELLA 62: PERCENTILE VILLA DON ORIONE

I progetti Ducale Cesate e Villa Don Orione sono rispettivamente un complesso residenziale di tre piani, 24 appartamenti e 10000 m<sup>3</sup> di volume fuoriterra e una villa singola di 1000 m<sup>3</sup> di volume fuoriterra.

Nonostante le differenze tipologiche e geometriche, che grande influenza hanno nel determinare i parametri di progetto usati nell'equazione di regressione, la bontà del dato di costo predetto è elevata e questo fa ben sperare riguardo alla possibilità di sviluppare il metodo fin qui sviluppato su un insieme di casi non per forza omogenei dal punto di vista dimensionale ma uniformi per ciò che riguarda gli aspetti tecnologici e costruttivi; tutti i casi presi in considerazione infatti prevedono la messa in opera di strutture in calcestruzzo armato e tamponamenti esterni in muratura.

È bene notare che tutti i passaggi sviluppati sono al netto delle conoscenze impiantistiche la cui presenza ha effetti solo sui dati di costo reale.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Considerando il valore medio come il più probabile è possibile valutare la capacità predittiva (o in maniera analoga e complementare lo scarto percentuale) del metodo utilizzato per ogni distribuzione e di metterla in confronto con quanto già fatto nei capitoli precedenti.

Capacità Predittiva (rispetto al valore di media) (%)	Distribution Fitting	Distribuzione Normale	Distribuzione Triangolare	Distribuzione PERT
Ville Uboldo	100%	98%	97%	97%
Vila Don Orione	113%	111%	113%	112%
Valbrona	102%	99%	99%	99%
Sigma	104%	102%	108%	105%
Delta Cesate	103%	100%	100%	100%
Casalina	102%	100%	99%	99%
Belvedere Mariano Comense	103%	100%	100%	100%
Brivio Mariano Comense	102%	100%	100%	100%
Ducale Cesate	102%	100%	100%	100%

TABELLA 63: CAPACITA' PREDITTIVA

Quanto svolto fino ad ora può essere sinteticamente riassunto nel diagramma di flusso del lavoro prodotto che viene riportato nella pagina seguente

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

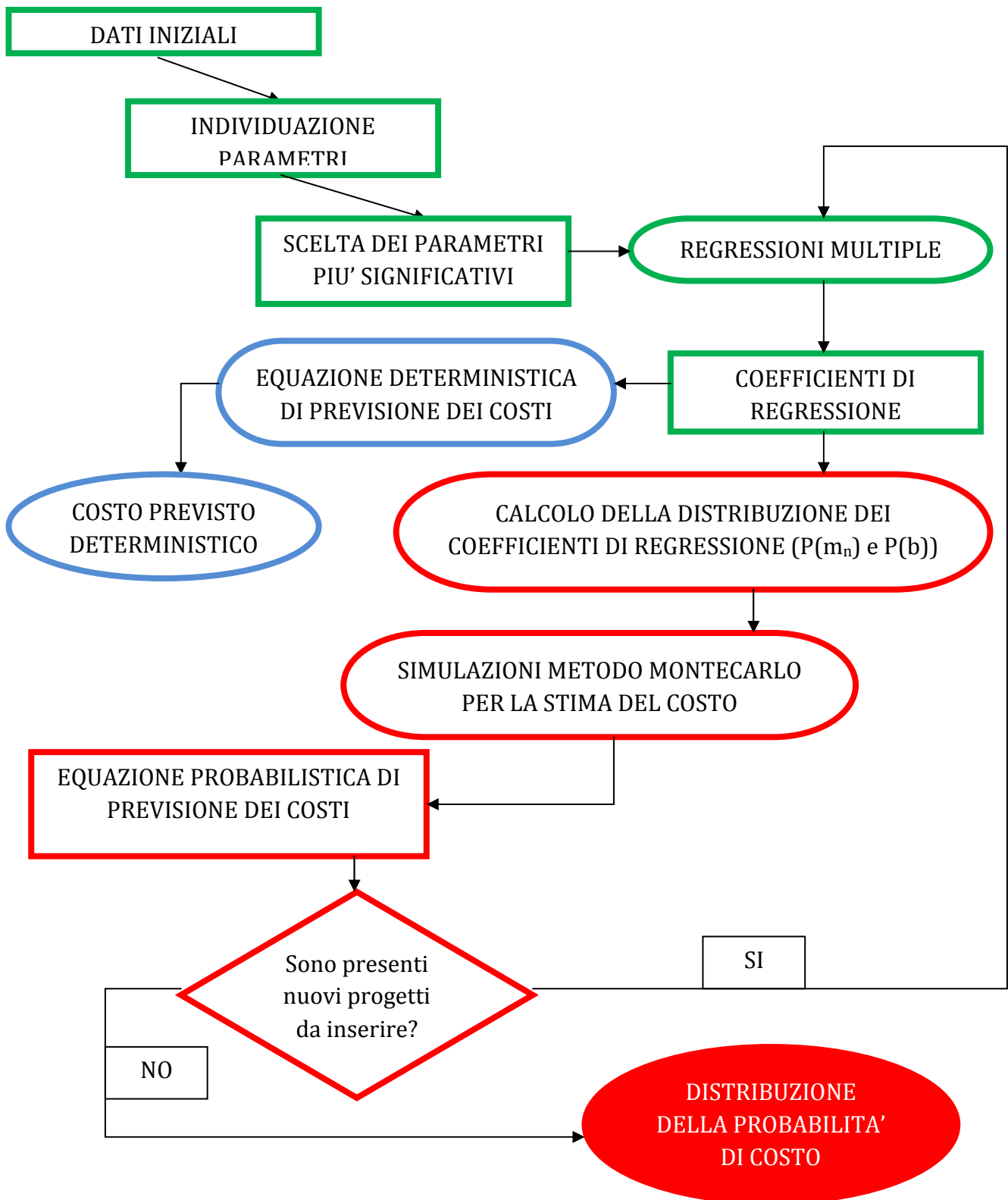


FIGURA 61: DIAGRAMMA DI FLUSSO DEL LAVORO SVOLTO

### 4.15 ESITO E VALUTAZIONI FINALI DEL METODO PROBABILISTICO

Quanto finora fatto ci conduce a valutazioni finali sull'applicazione dell' approccio probabilistico. Le considerazioni sono state fatte confrontando fra di loro le varie curve di probabilità cumulativa ottenute per ogni progetto con i diversi metodi di distribuzione; a loro volta tali funzioni sono state messe a confronto con il costo reale del progetto, dato fornito all'inizio dello studio, e il costo deterministico ottenuto come esito delle regressioni lineari multiple descritte nelle pagine precedenti.

Prima di procedere con ogni tipo di valutazione però si preferisce dare visione di questi grafici, in modo tale da meglio chiarire l'analisi successiva.



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

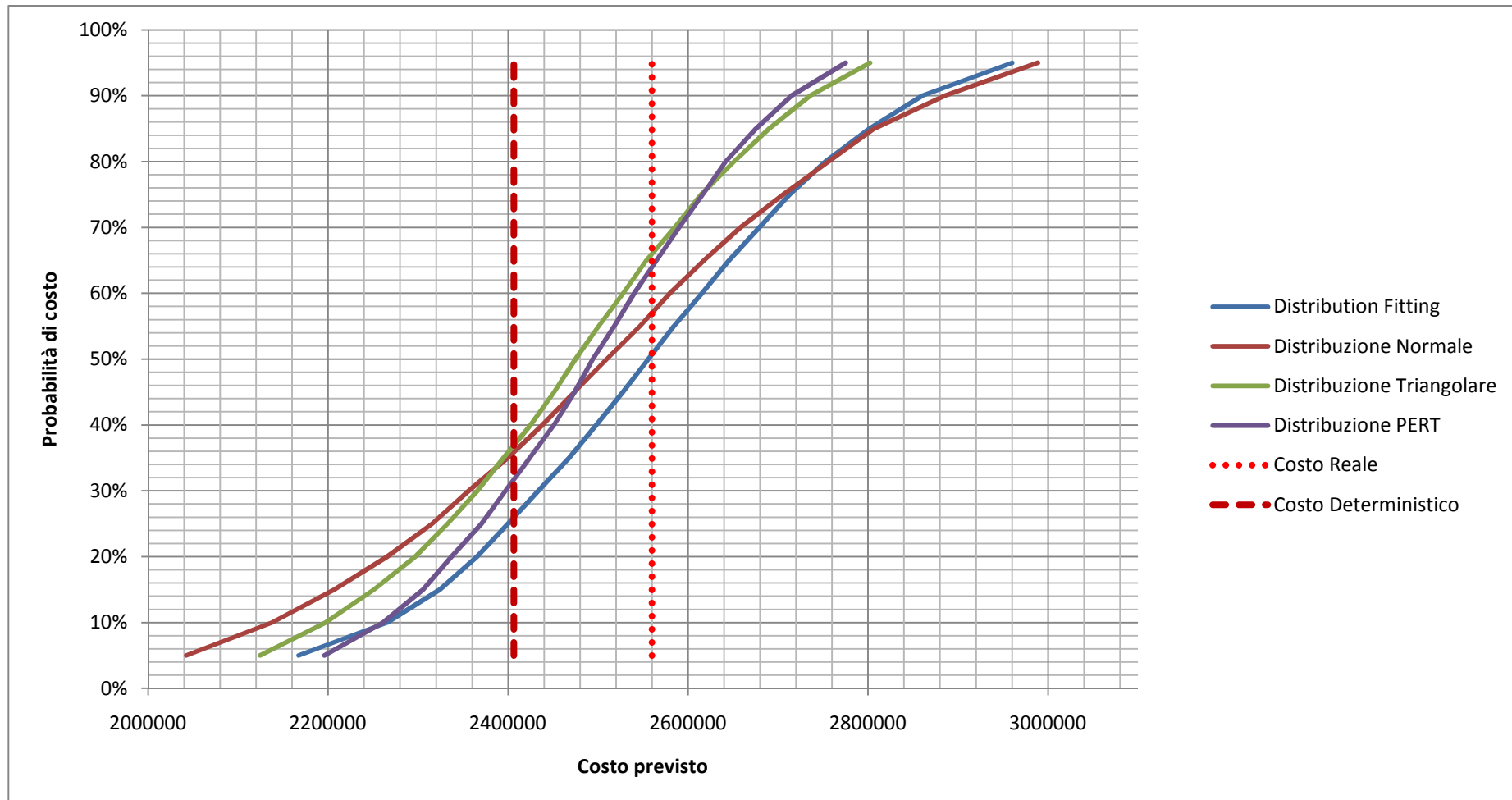


GRAFICO 40: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO VILLA UBOLDO

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

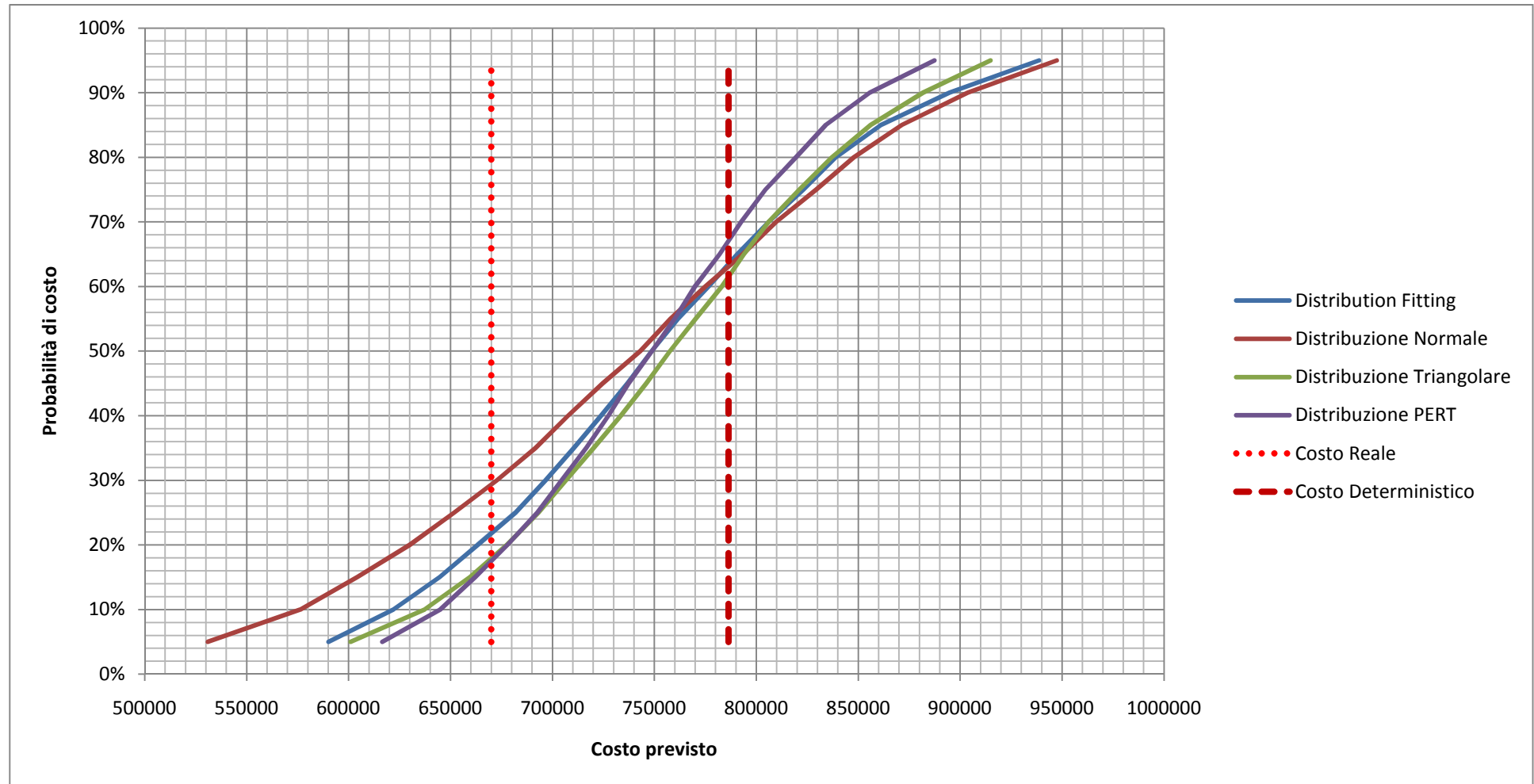


GRAFICO 41: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO VILLA DON ORIONE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

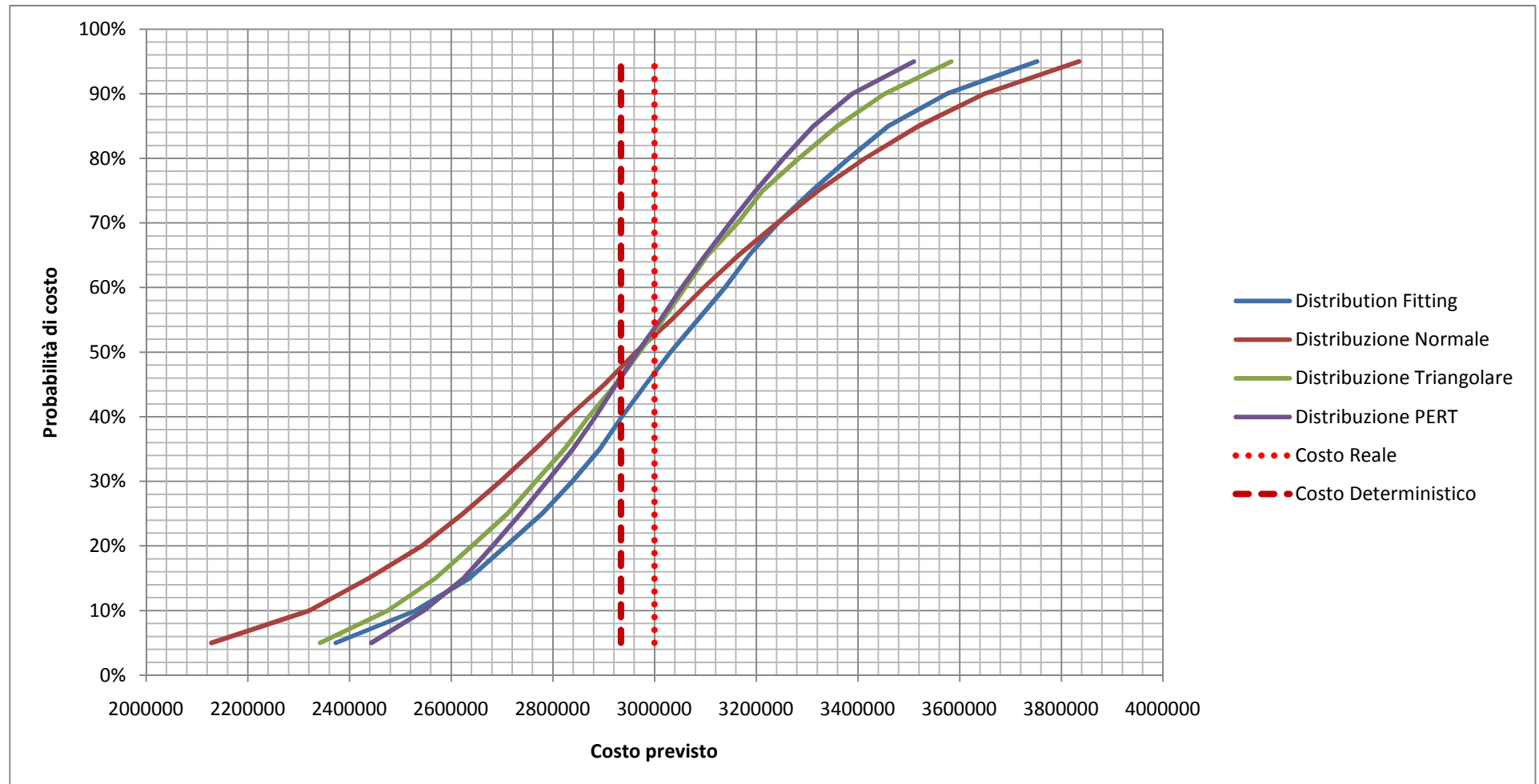


GRAFICO 42: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO VALBRONA

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

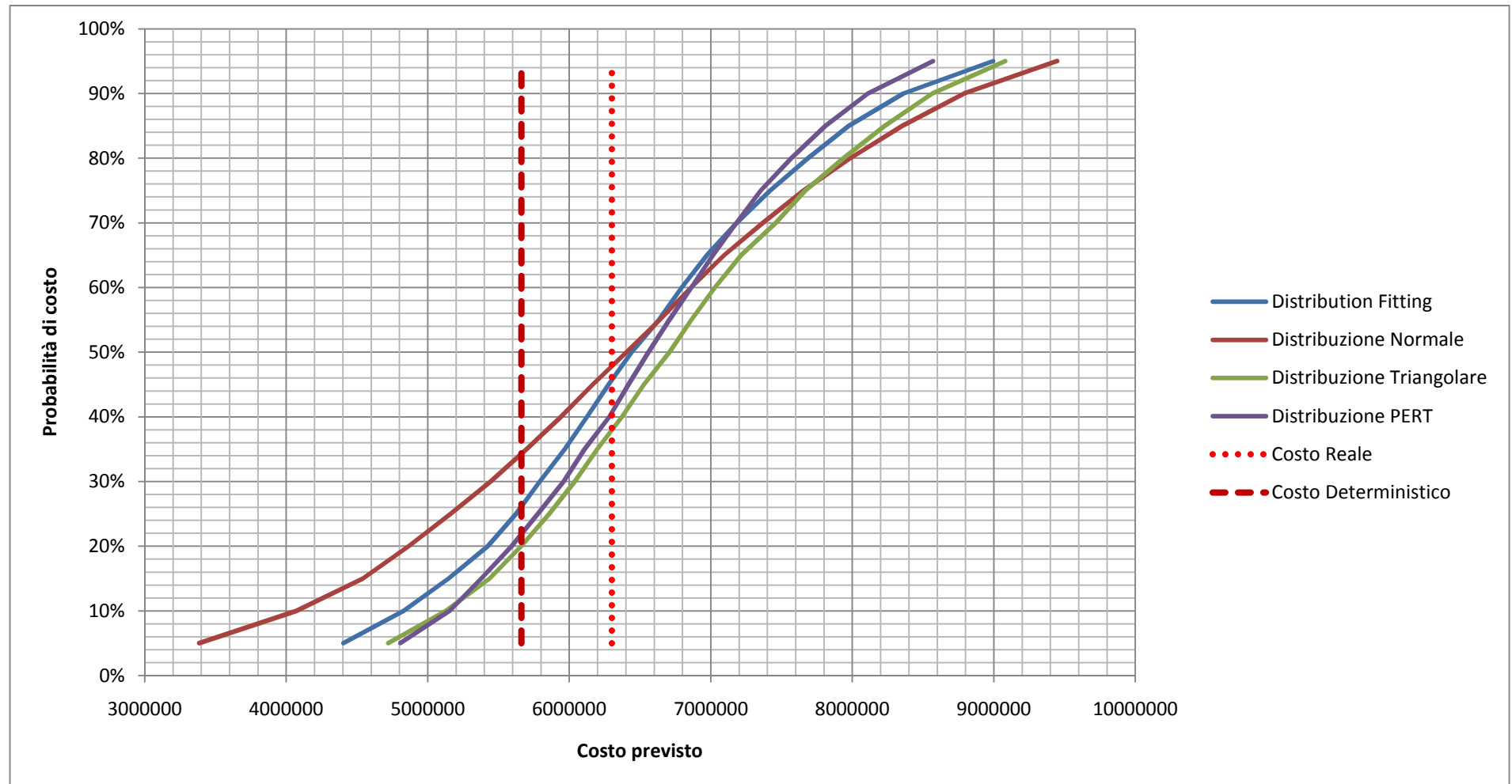


GRAFICO 43: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO SIGMA

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

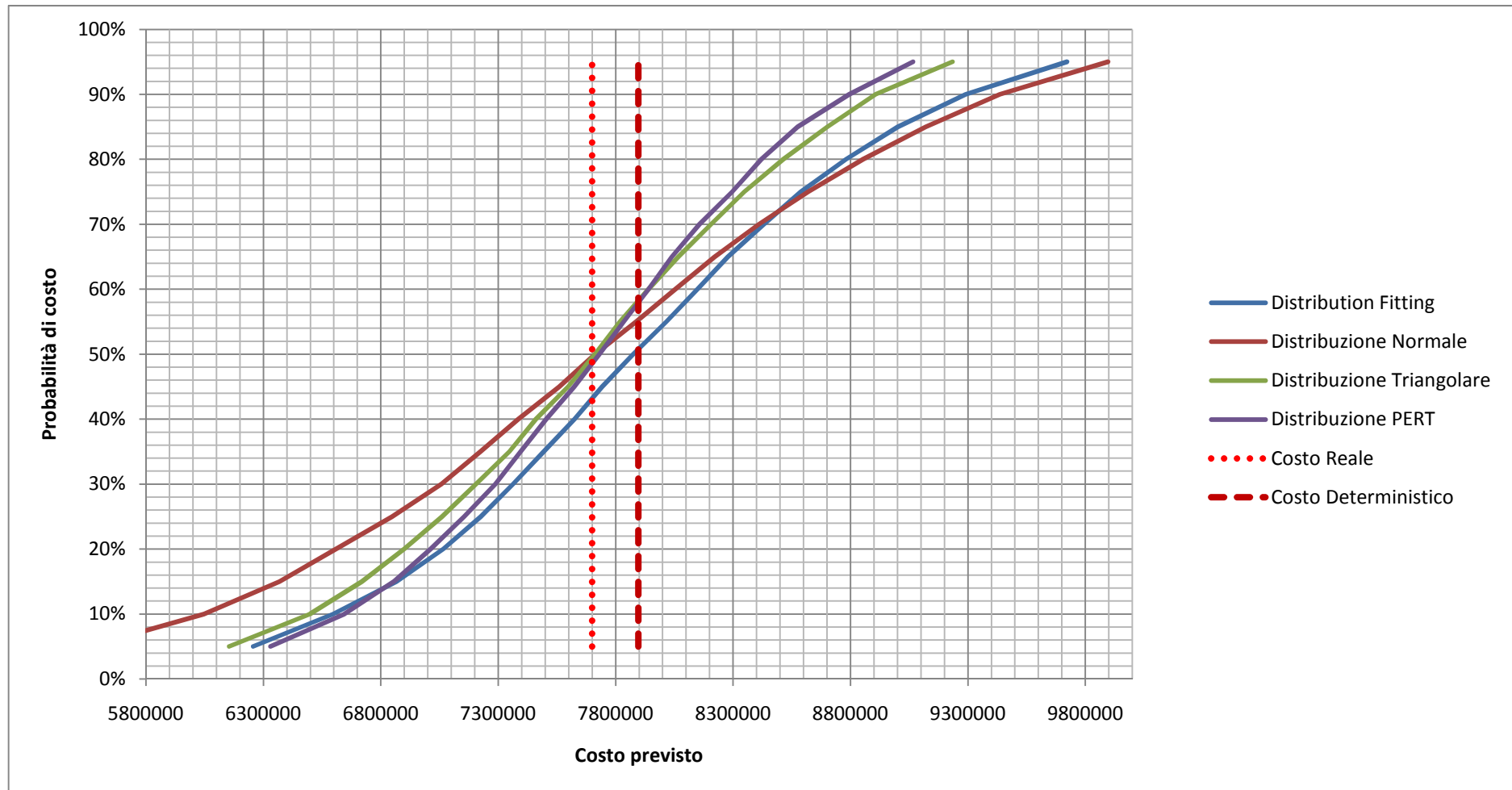


GRAFICO 44: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO DELTA CESATE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

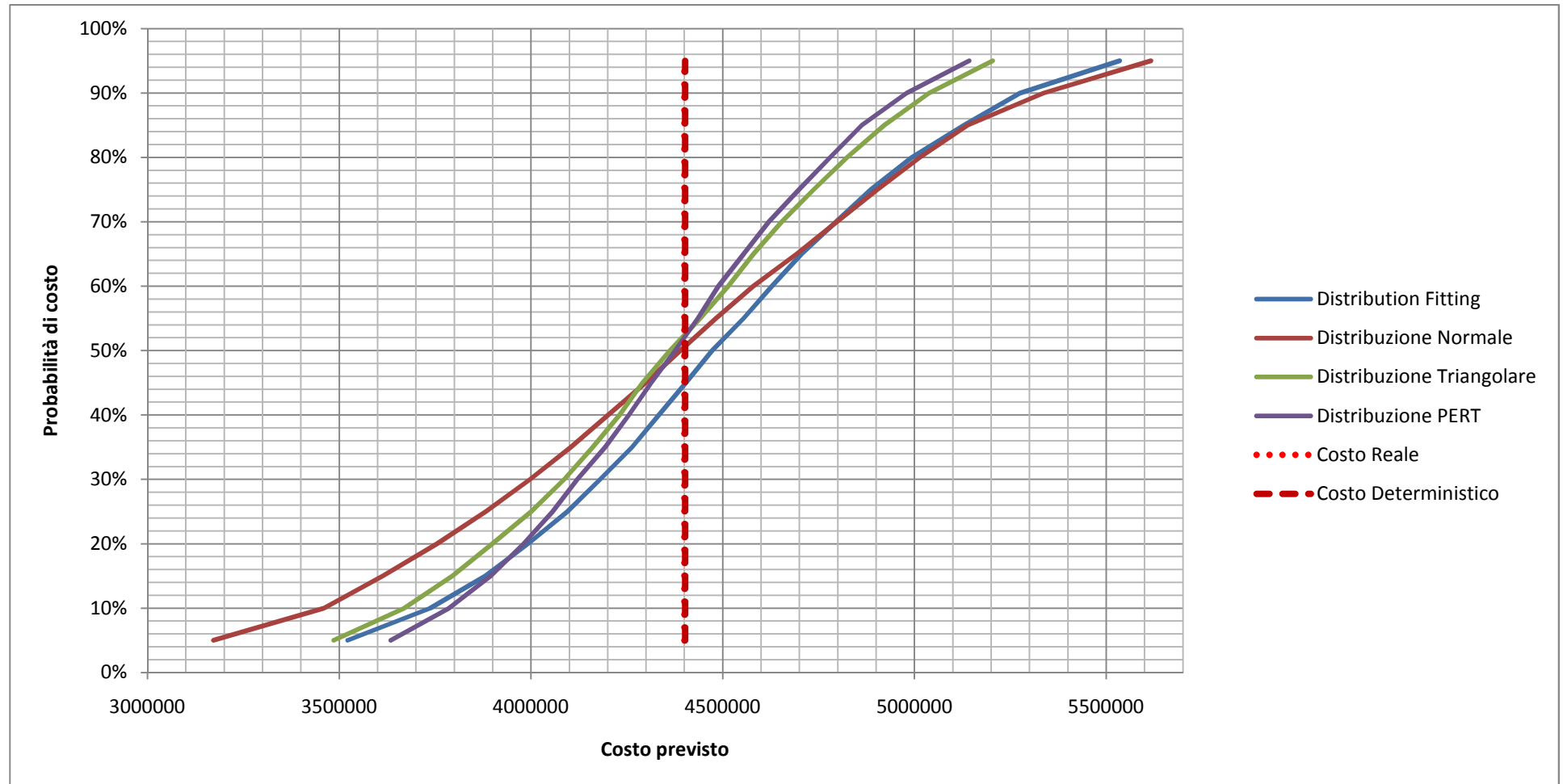


GRAFICO 45: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO CASALINA

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

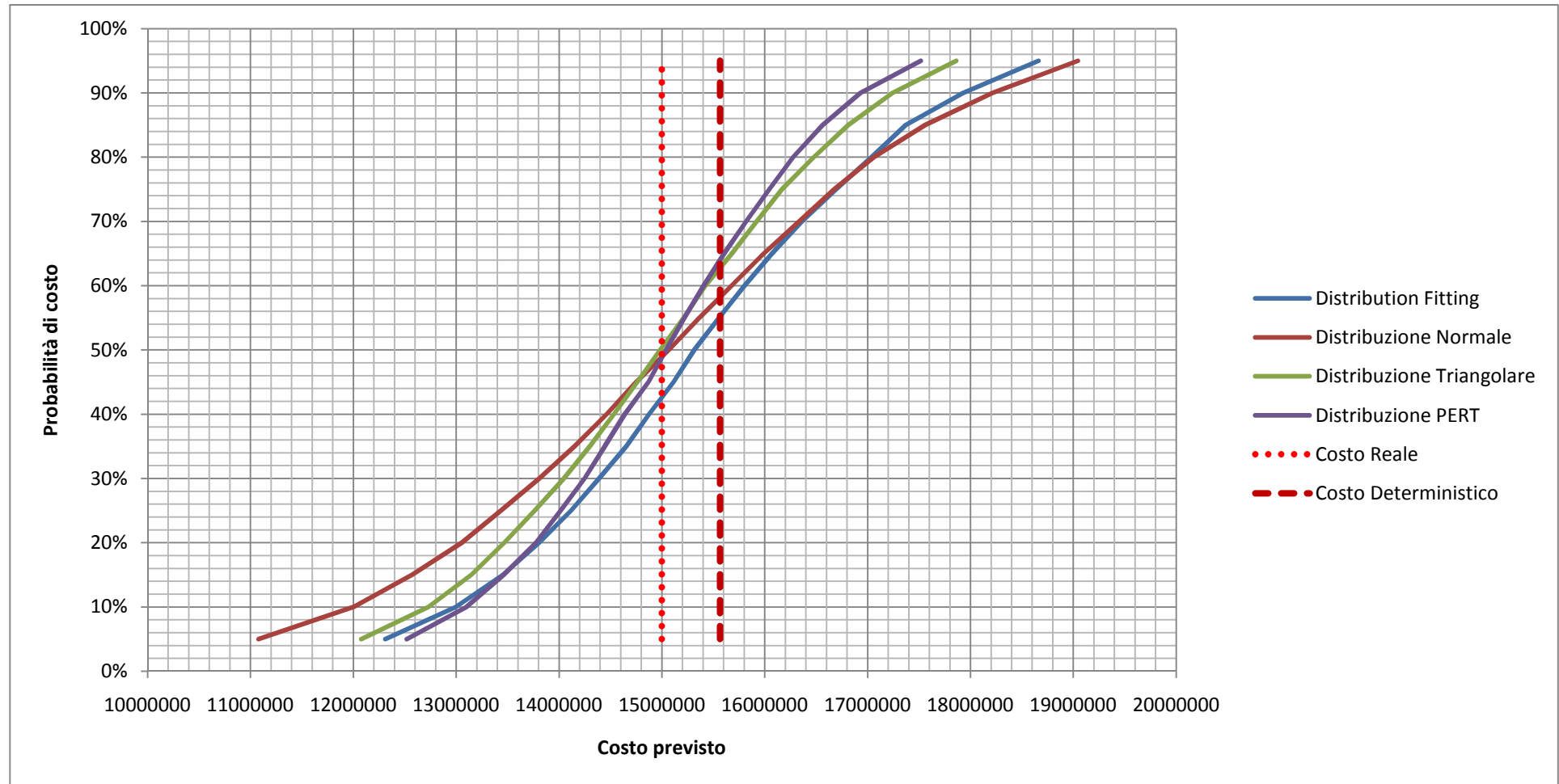


GRAFICO 46: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO BELVEDERE

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

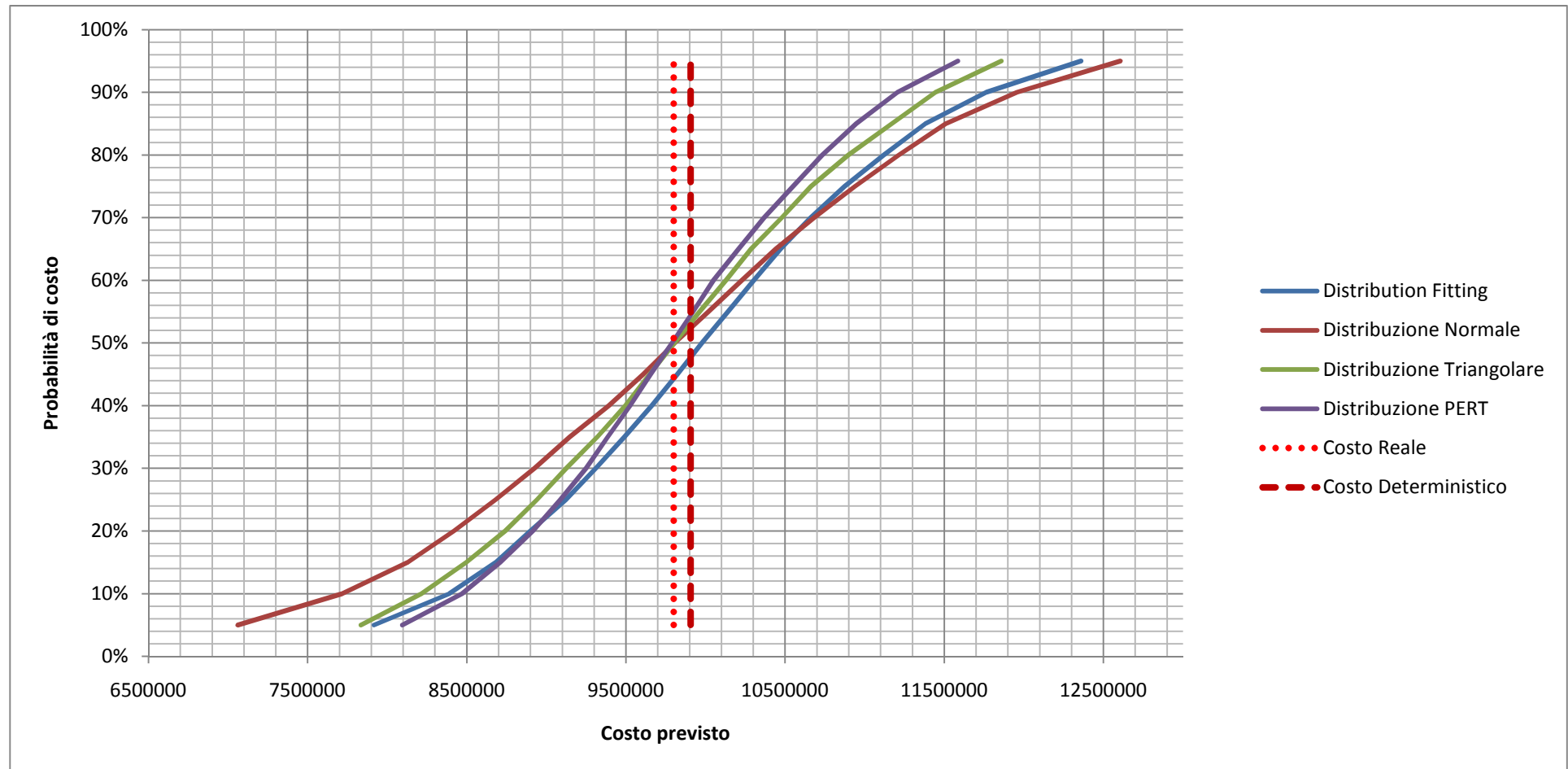


GRAFICO 47: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO BRIVIO



## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

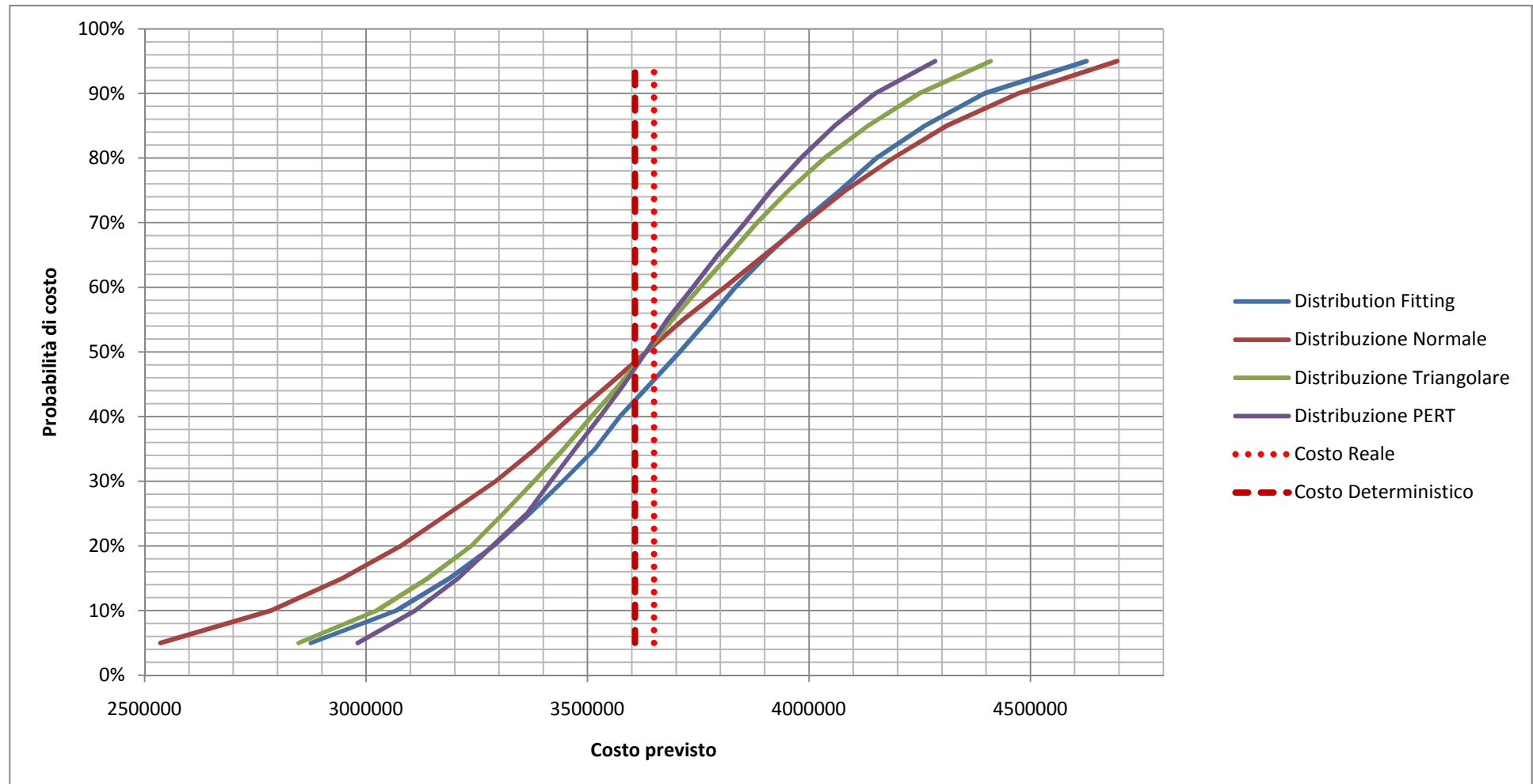


GRAFICO 48: DISTRIBUZIONI DI PROBABILITA' CUMULATIVA, COSTO REALE E DETERMINISTICO PROGETTO LA DUCALE

L'analisi dei risultati dello studio viene condotta confrontando successivamente le diverse curve tra loro e sottolineando alcune considerazioni sulla natura dei dati di partenza.

Si parte dal confronto tra le curve di distribuzione e il valore di costo reale per ogni progetto. Si può notare che l'intersezione tra la retta del costo reale e le curve di probabilità è attorno a valori di probabilità di costo che oscillano con piccoli scostamenti intorno al 50 %. Questa osservazione può essere presa come prima conferma della validità del metodo applicato, perché tale percentuale può essere ritenuta come la più attendibile. Tra i casi che si discostano da questa tendenza ve n'è solo uno di vero interesse, quello di Villa Don Orione. Le curve di probabilità dei costi incrociano il costo reale a percentuali molto basse, inferiori al 30 % : ciò è dovuto alle caratteristiche tipologiche e dimensionali di questo progetto che lo rendono elemento di disomogeneità nello studio.

Successivamente si confrontano le curve di distribuzione e il valore di costo deterministico per ogni progetto. Utilizzando un approccio del tutto analogo al precedente per condurre le valutazioni sui grafici, è possibile dire che i casi in cui l'approccio deterministico ha prodotto esiti significativi sono più ridotti. Infatti l'intersezione tra le curve di probabilità e la retta del deterministico si discostano con maggiore frequenza dal valore più probabile (50%) e di conseguenza dal costo reale. Questo permette un'ulteriore considerazione: sarà più probabile che l'utilizzo della retta di regressione per predire i costi di eventuali ulteriori progetti dia risultati con scostamenti abbastanza ampi, specialmente per progetti di uguale tipologia rispetto a quelli trattati (edilizia residenziale), che presentino però caratteristiche geometriche diverse da quelle prima qui citate.

Per quanto riguarda il confronto fra le diverse curve di distribuzione di probabilità non è facile dire a priori quale tipo di distribuzione riesca ad approssimare meglio il costo reale. Innanzitutto, si nota come le quattro distribuzioni proposte siano in realtà tutte molto vicine con differenze sempre più piccole a mano a mano che i costi predetti si avvicinano alla zona centrale della curva. Solitamente la curva di distribuzione PERT ha un andamento marcatamente più verticale (lo si nota per valori di probabilità cumulativa alti o bassi), mentre la curva della distribuzione normale ha un andamento più basso ed ampio verso gli estremi. Per rispondere al quesito di quale sia la curva più utile per la predizione dei costi bisogna fare una serie di attente valutazioni sulla differenza fra costi reali e costi predetti tramite il metodo deterministico. Infatti, quando la differenza fra questi valori è ampia è conveniente assumere come distribuzione di riferimento quella normale; qualora, al contrario, costi reale e deterministico presentino uno scarto ridotto (cioè quando già l'approccio deterministico riesce a predire con buona precisione il costo reale), allora conviene assumere come curva di ragguglio quella prodotta dalla distribuzione PERT. Queste sono, ovviamente, valutazioni che possono essere fatte a posteriori, quando cioè sono già note tutte le condizioni di costo che il progetto in esame richiede per la propria realizzazione. Se la scelta deve essere fatta in fase preliminare di progetto, quando cioè non sono ancora note le voci di costo, sarà più cauto attenersi ad una scelta "mediana", come la distribuzione triangolare, oppure una "*distribution fitting*". Tali scelte possono considerarsi equivalenti, considerando però che il margine di sicurezza maggiore è tendenzialmente assicurato dalla "*distribution fitting*".

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Le considerazioni fino ad ora riportate non prendono in esame le nozioni di costo e prezzo che risultano essere interessanti per ampliare l'analisi contenuta in questo paragrafo. Pertanto, viene presentato di seguito un breve excursus su questo tema, per poi riprendere le valutazioni.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

### 4.15.1 COSTI E PREZZI

Le parole “costo” e “prezzo” nel comune parlare sono sovente usate come sinonimi, pur non essendolo; infatti, si definisce come *costo*:

*“la somma in denaro richiesta a compenso del valore di ciò che si acquista o di un'impresa economica che si realizza, più in particolare ogni impiego e consumo di capitale in un prodotto o in un servizio”.*

In particolare, il *costo totale* di un prodotto è l'esito della somma di altri costi:

- *costi diretti (operativi)*, imputabili ad una singola lavorazione. dovuti alla manodopera, ai materiali, alle utenze ai mezzi d'opera e ad essi proporzionali
- *costi indiretti (operativi)*, non sono direttamente imputabili ad una singola lavorazione ma attribuibili al cantiere in generale; sono tutti quei costi che hanno origine da operazioni di cantiere, come la sua l'installazione, la sua gestione e la sua pulizia
- *costi indiretti legali/finanziari*, non sono direttamente imputabili ad una singola lavorazione, ma attribuibili agli aspetti legali, contrattuali, e i costi sostenuti per le assicurazioni, le cauzioni e gli oneri finanziari
- *costi generali*, non sono attribuibili ad un particolare cantiere, ma sono da attribuire all'impresa nel suo complesso; normalmente vengono riallocati sui vari cantieri in base ad opportuni criteri di ripartizione.

Si definisce, invece, come *prezzo*:

*“si intende con prezzo la quantità di denaro costituente il corrispettivo di un bene venduto o di un servizio prestato”.*

In particolar modo, il prezzo è il risultato della seguente somma

$$\text{Prezzo} = \text{Costo totale} + \text{Imprevisti} + \text{Margine} + \text{Rischio}$$

Dove :

- gli *imprevisti* sono una percentuale del costo totale messa a disposizione per prevenire costi derivati dall'incertezza di alcune analisi;
- il *margin*e è l'utile di impresa nell'intervento;

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

- i *rischi* sono la descrizione numerica della percentuale del prezzo da tenere come riserva finanziaria di copertura. In altre parole, copre qualunque pericolo che possa apportare danni finanziari all'impresa e di conseguenza alla commessa.

Questa breve descrizione è stata necessaria come precisazione terminologica di quanto è stato fin qui fatto. I costi operativi calcolati con il metodo proposto, infatti, descrivono una previsione il più precisa possibile di quello che l'impresa appaltatrice dovrà sostenere con i soli mezzi finanziari propri. Tali valori sono comprensivi unicamente delle voci di costo diretto operativo e indiretto operativo. Le altre voci di costo che vanno a formare il prezzo (costi indiretti legali/finanziari e costi generali) dovrebbero essere considerate separatamente. In verità, poiché si sta parlando di probabilità e non più di valori deterministici di costo è bene tenere presente che esiste un margine di incertezza che affligge la scelta del valore più probabile di costo. Pertanto, se viene scelto come valore di costo più probabile quello attorno al 40% di probabilità cumulativa, tale valore potrebbe essere più

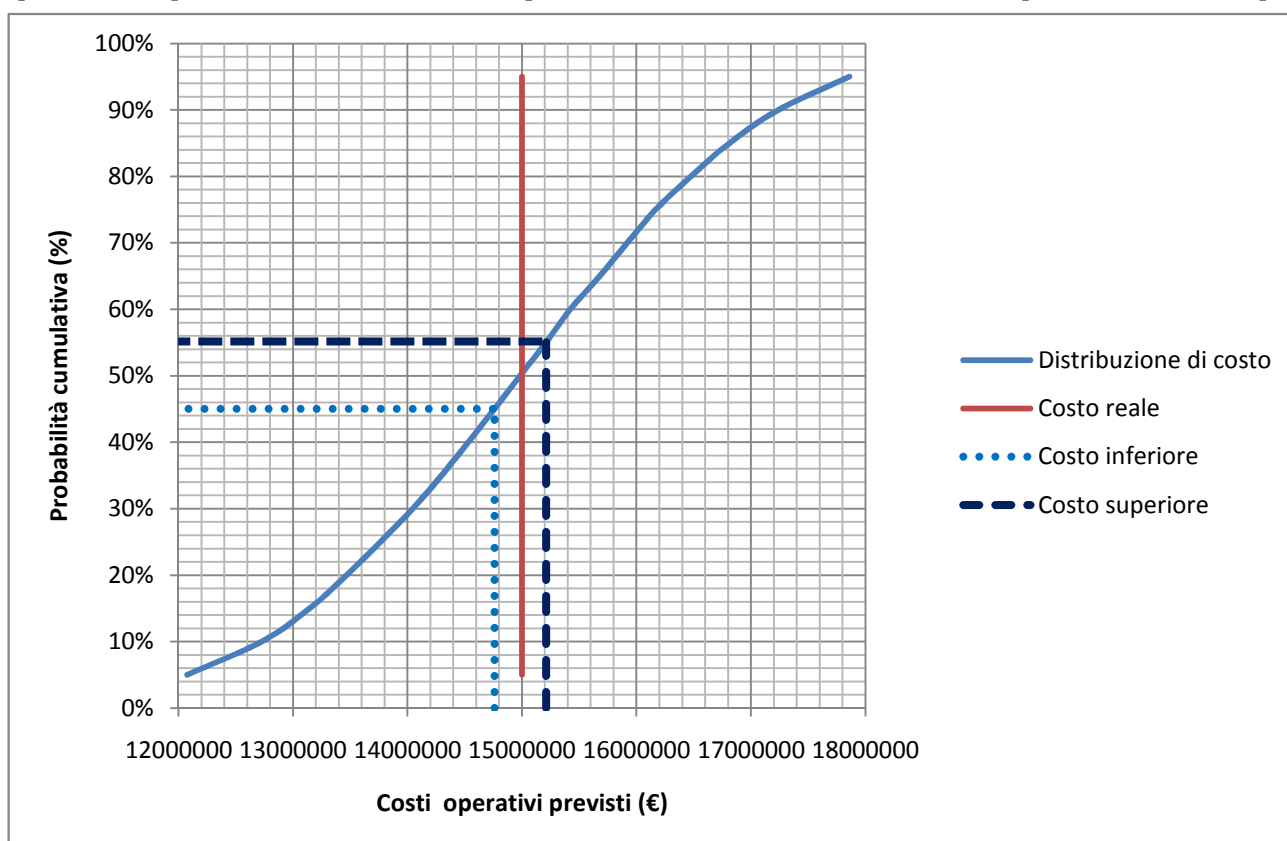


GRAFICO 49: DISTRIBUZIONE DI PROBABILITA' DI COSTO DEL PROGETTO BELVEDERERE -  
DISTRIBUZIONE TRIANGOLARE

lontano dal reale costo finale di realizzazione di quanto non sia quello con probabilità

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

cumulativa del 50%. Tale incertezza si rifletterà, poi, sul prezzo finale dell'opera con un aumento dell'ammontare alla voce imprevisti. Per esempio, un'impresa intende realizzare il progetto Belvedere e, considerati i risultati ottenuti dal metodo sopra illustrato, deve scegliere una fascia di prezzo probabile entro la quale descrivere i costi che dovrà sostenere, per poter poi presentare un'offerta di prezzo ad un ipotetico acquirente. Si ipotizza che tale impresa scelga come valore massimo probabile di costo quello corrispondente al 55% di probabilità cumulativa e quello inferiore al 45% della distribuzione triangolare. A queste percentuali corrispondono rispettivamente i costi previsti 14.760.168 € e 15.210.581 €. Poiché si è in fase preliminare si può considerare che il prezzo presentato non sia un valore certo, ma sia una stima fluttuante tra un massimo e un minimo. Tenendo conto della definizione di prezzo esso dovrà essere composto da costo totale previsto, margine, rischi e altri oneri. Gli oneri derivanti dai costi indiretti possono considerarsi fissi, perché non variano in funzione del costo. Il margine è, al contrario, una percentuale del costo e si può collocare intorno a un 10-12% circa del costo, così come il rischio (5% - 6%). Qualora il costo previsto di riferimento fosse quello inferiore, il prezzo corrispondente sarebbe così costituito da:

- costo :	14.760.168 €
- oneri legali:	-----€
- margine:	1.476.016 €
- rischio:	738.008 €
<b>- PREZZO</b>	<b>16.974.194 €</b>

Quando, invece, il costo previsto fosse quello massimo, il prezzo sarebbe composto da queste voci:

- costo :	15.210.581 €
- oneri legali:	-----€
- margine:	1.521.058 €
- rischio:	760.529 €
<b>- PREZZO</b>	<b>17.492.168 €</b>

Il costo operativo reale è 15.000.000 €. Pertanto è evidente che il primo prezzo presentato riduce il margine, mentre il secondo lo aumenta, rendendo il prezzo insostenibile per l'acquirente. Perciò, si può agire in due modi: o decidendo di variare la percentuale di margine in funzione della percentuale di probabilità di costo (all'aumentare di quest'ultima diminuisce la prima); oppure far variare secondo un'adeguata regola (o seguendo l'esperienza) il rischio. E, poiché si stanno utilizzando funzioni di probabilità, la logica sembra intuitivamente rivolgersi più alla seconda possibilità che alla prima. Quindi, se la probabilità di costo previsto

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

fosse bassa, risulterebbe necessario aumentare il rischio; al contrario, quando la probabilità fosse elevata, il rischio dovrebbe essere diminuito nella formulazione di un prezzo e, qualora questo risultasse ancora troppo elevato, si potrebbe agire scontandolo a favore dell'acquirente. Ovviamente, la regola che deve essere seguita per poter definire quali siano i criteri che determinano la variazione del rischio sono definite in funzione del grado di precisione con il quale riesce a lavorare il metodo presentato. Dunque, maggiore è il database con il quale il processo lavora (cioè, maggiore è il numero di valori che descrivono i vari parametri di riferimento) e più preciso risulterà il metodo; conseguentemente, minori dovranno essere le fluttuazioni del rischio al variare della percentuale di probabilità relativa ad un prezzo. In altre parole, si può dire che il valore di rischio possa essere letto come una percentuale di *confidenza* del metodo.

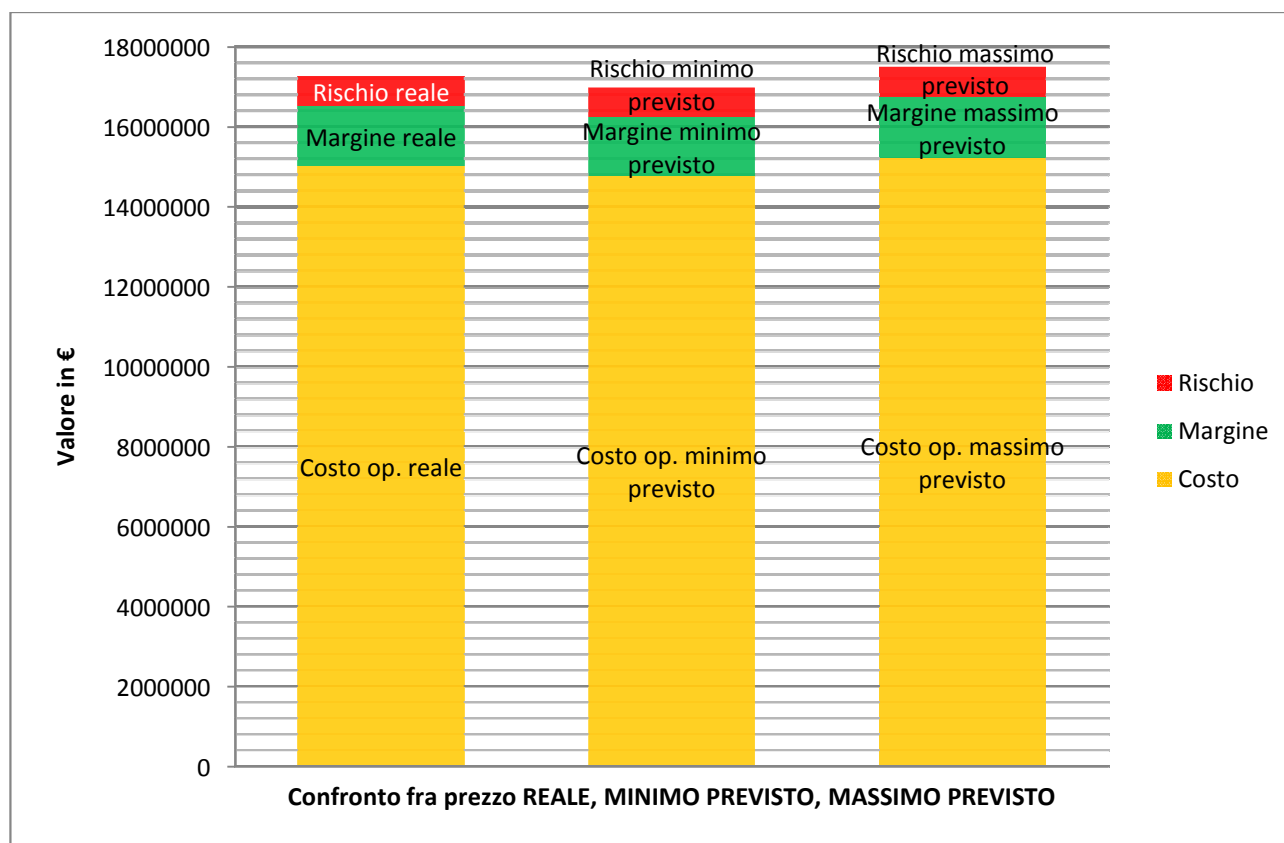


GRAFICO 50: CONFRONTO PREZZO REALE, MINIMO E MASSIMO PREVISTI

Si devono fare anche altre considerazioni. Per quello che si è detto nelle pagine precedenti, il metodo messo a punto per il calcolo del valore di costo non tiene conto delle caratteristiche impiantistiche o delle finiture che saranno messe in opera nella realizzazione dei progetti.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Queste qualità rientrano solamente all'interno del costo finale. E' intuibile che impianti o finiture differenti portino a costi differenti a parità di caratteristiche geometriche e di forma. Questi aspetti non possono, dunque, essere trascurati, ma possono essere ripresi a valle del metodo per mezzo di fattori correttivi che permettano di raggugliare il costo previsto a quello reale che tenga conto dell'influenza delle diverse tipologie impiantistiche scelte, della presenza o meno di fonti rinnovabili e della tecnologia adottata nell'edificio.

Quanto fin qui detto rappresenta un'ipotesi di utilizzo da parte di un'azienda privata. Il metodo sviluppato in questa tesi può rappresentare uno strumento per la determinazione dei costi da parte dell'appaltatore, ma può essere un mezzo ancora più adatto alla figura del committente. In particolar modo, nel campo dell'edilizia pubblica, laddove ci si trova di fronte alla necessità di determinare costi (e, conseguentemente, i margini di guadagno) da parte della stazione appaltante. E' noto, infatti, come il problema legato alla determinazione del prezzo di una gara d'appalto pubblica sia molto sentito in Italia; ed è acclarato con quanta facilità spesso ci si trovi di fronte a situazioni nelle quali non si ha più il controllo per le spese della messa in opera di un progetto. Utilizzare un database abbastanza recente unitamente alla possibilità di applicare una metodica che faccia riferimento al campo del calcolo delle probabilità permetterebbe di conoscere quali potrebbero essere gli scostamenti di prezzo accettabili rispetto al prezzo determinato in fase di gara. In funzione del livello di probabilità di costo scelto, infatti, la formulazione del rischio e del margine risultano essere direttamente proporzionali alla probabilità di costo utilizzata.

Lo sviluppo di questo metodo si presta a continue possibilità di affinamento e modifica, a futuri ampliamenti, grazie alla sua estrema facilità e alla sua struttura semplice e "lineare" che si presta, non solamente come in questo caso ad una tipologia edilizia di carattere residenziale, ma anche ad altre, quali, per esempio, l'edilizia scolastica, quella della sanità. Se il metodo fosse applicato anche alle infrastrutture sarebbe necessario modificare la natura dei parametri.



### 4.15.2 FATTORI CORRETTIVI

Sul costo totale di un edificio in costruzione le finiture e gli impianti incidono rispettivamente per una percentuale che può variare tra il 25% e il 30%. Ogni costruzione presenta delle caratteristiche di finitura e delle peculiarità impiantistiche che la rendono differente da un altro. Il metodo fin qui presentato considera tutti i progetti come se avessero gli stessi livelli di finitura e di impianti rispetto al data-set di riferimento. Questo in parte spiega anche la bontà della previsione dei costi. Qualora, invece, si dovesse aver a che fare con un progetto presentato da un'azienda differente da quella che ha fornito i dati iniziali (che lavora, dunque, con modalità di costruzione ed impostazioni progettistiche nuove rispetto agli elaborati progettuali dai quali si è ricavato il data-set) e con livelli di finitura e impianti diversi, tali caratteristiche incideranno nella previsione di costo.

Questo aspetto potrebbe essere un problema al quale si può ovviare facendo una serie di considerazioni che portino a formulare dei fattori di correttivi che determinino un aumento o una diminuzione della probabilità di costo previsto.

Per quel che riguarda la finitura il discorso è abbastanza semplice. E' necessario, infatti, individuare una serie di classi di finitura ben precise, definirne le particolarità concrete e individuare quale sia lo scostamento percentuale di queste rispetto al livello medio del paniere di riferimento (il data-set impiegato). Questo valore percentuale è quello che verrà poi utilizzato per incrementare o diminuire il costo previsto ( $FC_{\text{finitura}}$ ). Queste classi, in questa tesi, sono tre, ma non è sbagliato poter pensare che un utilizzatore possa scegliere di usarne un numero maggiore o inferiore; esse sono:

- livello di finitura ALTO
- livello di finitura MEDIO
- livello di finitura BASSO

Nel caso di studio che si sta seguendo, visto il livello medio dei progetti di riferimento, è possibile indicare tali valori come sono presentati nella tabella che segue; I costi delle finiture, cioè il costo di pavimenti, rivestimenti, sanitari, porte interne, pietre, serramenti esterni, incidono circa per il 25% dei costi totali all'interno di un investimento con un livello di finitura MEDIO

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

### LIVELLO DI FINITURA ALTO:

- **Pavimenti** in materiali pregiati(marmo) o in parquet,
- **Rivestimenti** in intonaco di cemento decorativo, rivestimenti in cartongesso,
- **Finiture** in cartongesso, eventuali opere da stuccatore, eventuali rivestimenti in resina.
- **Finestre e porte-finestre** in legno, persiane esterne in legno; possibile presenza di velux; portoncino di ingresso dotato di serratura elettrica.
- **Porte interne** con telaio in alluminio anodizzato
- **Rubinetteria** in materiale pregiato, di design

### LIVELLO DI FINITURA MEDIO:

- **Pavimenti** in parquet,
- **Rivestimenti** in intonaco, eventuali finiture in cartongesso.
- **Finestre e porte-finestre** in alluminio-legno, persiane in alluminio; portoncino di ingresso dotato di serratura elettrica.
- **Porte interne** rivestite con pannelli di fibra di legno e laminato plastico.
- **Rubinetteria** in acciaio, di design

### LIVELLO DI FINITURA BASSO:

- **Pavimenti** in piastrelle di cemento, piastrelle in gres porcellanato
- **Rivestimenti** in intonaco
- **Finestre e porte-finestre** in alluminio, persiane in alluminio
- **Porte interne** rivestite con pannelli di fibra di legno e laminato plastico.
- **Rubinetterie** non di pregio.

La fluttuazione del costo di finitura, rispetto al livello medio può essere circa questo:

- BASSO: -15%
- ALTO:+ 30%

Che tradotto in termini percentuali sull'intero costo di intervento significa avere una variazione fra questi valori -3,5% / +7,5%

Per meglio comprendere cosa si intende concretamente con i termini "alto", "basso" e "medio", vengono di seguito riportati degli esempi di finiture che determinano l'appartenenza ad una o all'altra classe. E' bene dire che non è necessario che le condizioni presentate in questa esemplificazione siano tutte presenti contemporaneamente per determinare un livello invece

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

di un altro: starà all'utilizzare di questo metodo, a seconda della propria sensibilità ed esperienza, definirlo.

PROGETTI	LIVELLO FINITURE	Fc finiture
VILLE UBOLDO	ALTO	1,0750
VILLA DON ORIONE	MEDIO	1,0000
VALBRONA	MEDIO	1,0000
SIGMA	MEDIO	1,0000
LA DUCALE-CESATE	BASSO	0,9650
DELTA-CESATE	BASSO	0,9650
CASALINA	MEDIO-ALTO	1,0375
BELVEDERE-MARIANO COMENSE	ALTO	1,0750
BRIVIO-MARIANO COMENSE	MEDIO	1,0000

TABELLA 64:PARAMETRI CORRETTIVI FINITURE

Nel grafico sotto riportato viene espresso graficamente come varia la distribuzione di probabilità cumulativa di costo di un progetto ipotetico se venisse moltiplicata per il fattore correttivo dovuto al livello di finitura; ad esempio, nel primo caso, si ha un livello di finitura elevato che porta ad una maggiorazione della distribuzione. A contrario, nel secondo, viene rappresentata l'ipotesi nella quale il livello di finitura dell'intervento sia basso.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

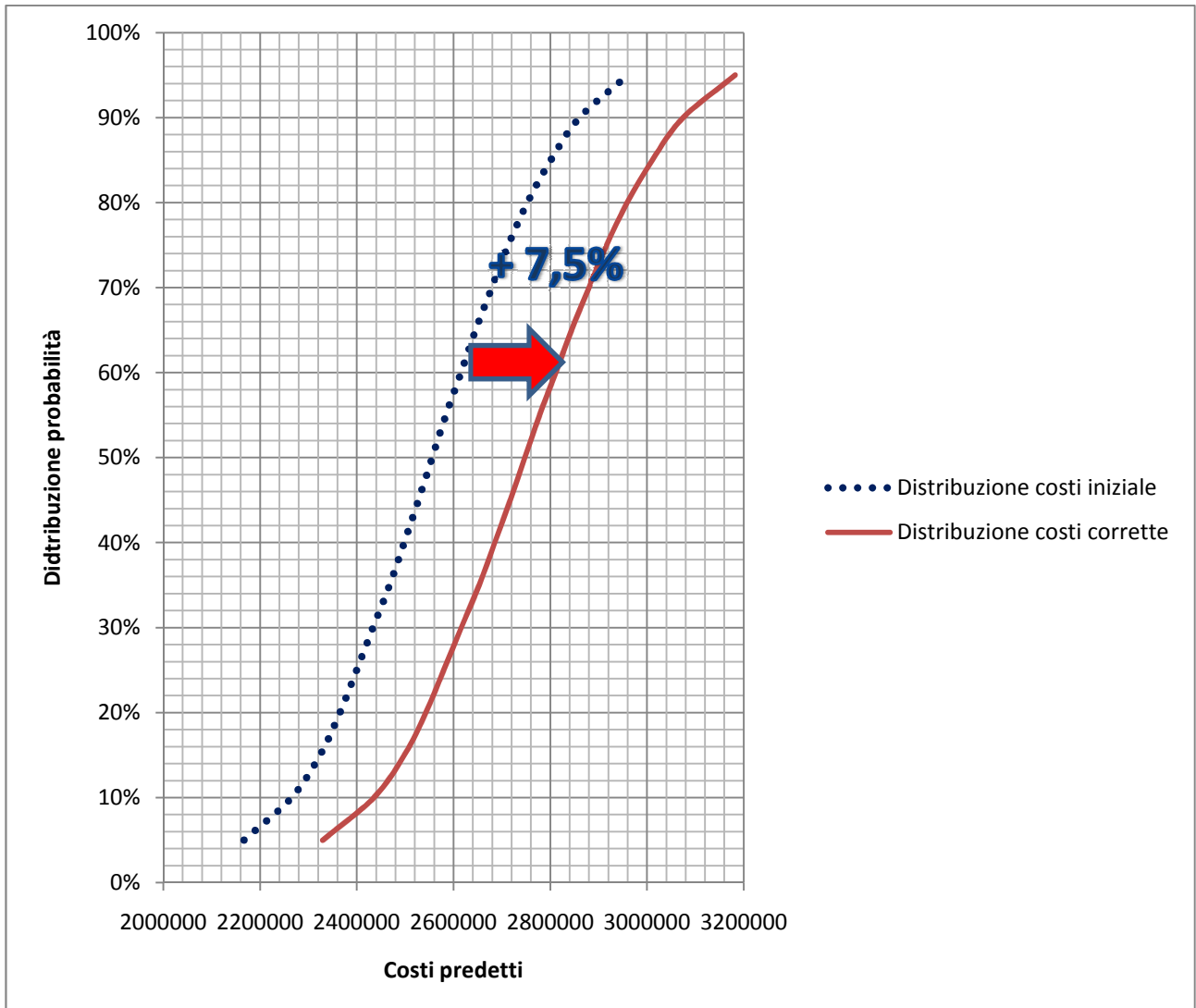


GRAFICO 51: DISTRIBUZIONE COSTI FINITURA ALTO LIVELLO

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

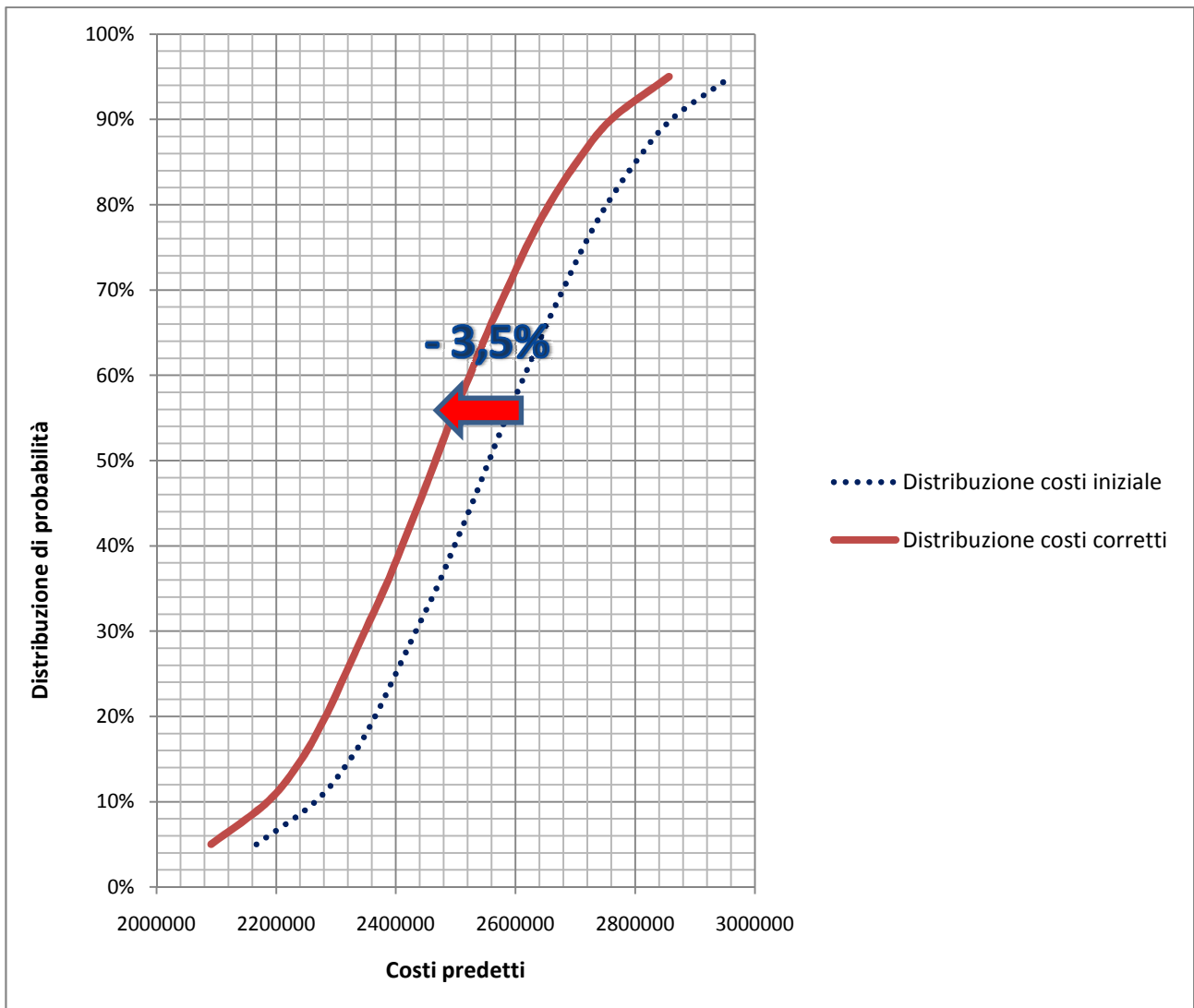


GRAFICO 52: DISTRIBUZIONE COSTI FINITURA BASSO LIVELLO

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Rivolgendo l'attenzione, invece, alla dotazione impiantistica il discorso appare più complesso e strutturato: questo perché i fattori che entrano in gioco non riguardano solamente la scelta della caldaia, la tipologia distributiva o il tipo di terminali di erogazione individuati dal progetto; si devono anche considerare gli aspetti riguardanti le prestazioni energetiche dell'involucro, i tamponamenti esterni, i serramenti, i materiali impiegati, ecc. La voce che nella maniera più sintetica possibile racchiude tutte queste informazioni è il valore di EPH (livello prestazionale energetico) dell'edificio, ovvero la classe energetica di appartenenza dell'edificio. In base al confronto fra la classe energetica media del data-set e quella di appartenenza del nuovo progetto, si deve valutare, come fatto in precedenza per le finiture, un coefficiente di correzione del costo previsto. In questa tesi non è stato possibile quantificare l'incidenza (o la variazione) percentuale della dotazione impiantistica di ogni progetto a causa dei numerosi fattori in gioco e dell'alta interdipendenza dell'uno rispetto agli altri. Sulla classe energetica andrebbero, dunque, fatte delle considerazioni molto approfondite, che, però, vengono rimandate ad altra sede.

Per completezza di informazioni, qui di seguito vengono riportate per sommi capi le caratteristiche impiantistiche dei progetti studiati.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Progetto	Classe energetica	Stratigrafia dei tamponamenti esterni	Tipo di caldaia	Presenza di fotovoltaico-solare	Presenza di pompe di calore	Tipo di terminali	Presenza di climatizzazione per trattamento aria	Presenza di climatizzazione per ricambio aria
Ville Uboldo	A	Intonaco 2 cm Laterizio Alveolato 24 cm Polistirene Esp 12 cm Intercap. Aria 5 cm Lastra Fibrocemento 8 cm Trasmittanza 0,23 W/m <sup>2</sup> K	NO	4 kW x 6 ville <u>Tot.</u> 24 kW	Aria-acqua geotermiche	Pavimento radiante	Deumidificazione	Un impianto per ogni villa
Villa Don Orione	A	Intonaco da Cappotto 0,5 cm EPS 10 cm Malta 1cm Poroton 25 cm	NO	3 kW	Aria-acqua geotermiche	Pavimento radiante	Deumidificazione	NO
Valbrona	B	Intonaco 1,5 cm Forato 20 cm Polistir Esp. 12 cm Intercap. Aria 5 cm Forato 8 cm Intonaco 1,5 cm Trasmittanza 0,26 W/m <sup>2</sup> K	NO	NO	Aria-acqua elettriche	Pavimento radiante	NO	NO
Sigma	C	Intonaco 1,5cm Laterizio 8 cm Intercap 2 cm Polistirene 10 cm Malta 1cm Forato 12 cm Intercap. 1,5 cm Trasmittanza 0,265 W/m <sup>2</sup> K	A condensazione	NO	NO	Pavimento radiante	NO	no NO

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

Progetto	Classe energetica	Stratigrafia dei tamponamenti esterni	Tipo di caldaia	Presenza di fotovoltaico-solare	Presenza di pompe di calore	Tipo di terminali	Presenza di climatizzazione per trattamento aria	Presenza di climatizzazione per ricambio aria
La Ducale - Cesate	F	Intonaco 1,5cm Laterizio 8 cm Malta 1 cm Fibra di vetro 6 cm Intercapedine 2 cm Laterizio 12 cm Intonaco 1,5 cm Trasmittanza 0,86 W/m <sup>2</sup> K	A condensazione	NO	NO	Radiatori	NO	no NO
Delta - Cesate	B	Intonaco 1,5 cm Laterizio 8 cm Intercap. 2 cm Polistirene Esp.Estruso 10 cm Malta 1cm Laterizio 12 cm Intonaco 1,5 cm Trasmittanza 0,265 W/m <sup>2</sup> K	A condensazione	Solare 176 m <sup>2</sup>	NO	Pavimento radiante	NO	NO
Casalina	A	Intonaco 1,5 cm Laterizio Semipieno 12 cm Pannelli Fibra Minerale 14 cm Rivest Legno 2 cm Trasmittanza 0,28 W/m <sup>2</sup> K	NO	36 kW	Aria-acqua elettriche	Pavimento radiante	Deumidificazione	<u>Presente</u> nei blocchi B, C e D <u>Assente</u> nel blocco A
Belvedere - Mariano Comense	A	Intonaco 1,5 cm Poroton 30 cm Intonaco 1 cm Polistirene 12 cm Intonaco Plastico Per Cappotto 0,5 cm Trasmittanza 0,207 W/m <sup>2</sup> K	NO	90 kW	SI	Pavimento radiante	Deumidificazione	SI
Brivio - Mariano Comense	C	Intonaco 1,5 cm Poroton 30 cm Intonaco 1cm Polistirene 10 cm Forato 8 cm Intonaco 1,5 cm Trasmittanza 0,225 W/m <sup>2</sup> K	A condensazione	Solare 88 m <sup>2</sup>	NO	Pavimento radiante	NO	NO

TABELLA 65: CARATTERISTICHE IMPIANTISTICHE



## 5 CONCLUSIONE

Nello svolgimento di questa tesi sono state presentate diverse metodologie per il calcolo di stima dei costi. Andando dal più semplice al più complesso sono stati presentati metodi che svolgono questa funzione in maniera sempre più precisa e affidabile. Il ricorso a casi di edilizia simili già realizzati in passato per mezzo di parametri di riferimento di facile individuazione è il metodo più veloce, ma anche quello che presenta un minor grado di precisione. I sistemi che, sempre partendo da progetti tipologicamente analoghi ai casi in esame, utilizzano strumenti più rigorosi che consentono di individuare relazioni di carattere matematico e portano a risultati più affidabili e vicini alla realtà: sono questi i casi che prevedono l'impiego delle regressioni lineari, oppure delle reti neurali. Le ANN sono strutture informatiche che non richiedono alcun intervento esterno da parte dell'utilizzatore, perché individuano in maniera autonoma le relazioni tra le informazioni di input e quelle di output. Le ANN tuttavia necessitano di un data set molto ampio, condizione non sempre realizzabile. Il sistema che prevede l'adozione di un sistema di regressioni lineari può trovare applicazione qualora vi sia una presenza limitata di progetti di riferimento, ma al contempo implica una partecipazione maggiore da parte dell'utilizzatore che dovrà essere in grado di ricorrere alla propria esperienza e sensibilità nella scelta dei parametri da adottare, o nell'utilizzo di fattori di correzione e ragguglio per adeguare il processo di calcolo ai casi pratici. Oggigiorno la sempre maggiore capacità di calcolo messa a disposizione dai mezzi informatici fa sì che le metodiche più semplici e imprecise vengano via via abbandonate a favore di altre che permettono un vantaggio in termini di minori costi e tempo.

In questa tesi si è partiti da un data-set abbastanza limitato composto da 8 progetti. Di questi si aveva nozione delle caratteristiche fisiche e geometriche, dei costi operativi totali (diretti e indiretti) e, in maniera sommaria, delle caratteristiche più grossolane a livello impiantistico; dei progetti non si conoscevano i computi metrici dai quali desumere le quantità di materiale utilizzato o il loro effettivo costo di messa in opera. Poiché le conoscenze sui progetti erano scarse si è presunto di partire da una condizione simile a quella che caratterizza la fase preliminare di progettazione e da tale situazione si è sviluppato un metodo di calcolo che, prendendo avvio dai dati così come sono stati descritti, permettesse di giungere alla stima di un costo di realizzazione. Un data-set così piccolo non permette l'impiego di reti neurali, pertanto si sono applicati sistemi di regressioni lineari multiple che hanno individuato dei coefficienti di regressione che mettono in relazione fra loro i differenti parametri e gli stessi parametri con i costi di realizzazione.

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_r x_r$$



$$C(x_n) = m_n \cdot x_n + b$$

In tal modo si è potuto determinare un primo sistema di stima “deterministico”, così definito perché, partendo da valori caratteristici reali ed univoci dei parametri, determina un unico valore di costo. Il procedimento è stato ampliato in un secondo momento, introducendo un valore di probabilità per ogni valore di stima prevista. Questo è stato realizzabile perché, dai valori dei coefficienti di regressione determinati facendo “ruotare” fra loro gli 8 progetti che formano il data-set e quello di confronto, si sono desunte delle curve di distribuzione dei coefficienti stessi che sono state poi usate per determinare diverse funzioni di distribuzione di probabilità dei costi previsti. Le curve di distribuzione di probabilità, vista la scarsità di dati disponibili, sono state ricavate mediante l'applicazione del metodo Montecarlo (che prevede la creazione di numeri pseudocasuali che si adattino alla distribuzione scelta).

$$C(x_n) = m_n \cdot x_n + b$$



$$P(C(x_n)) = P(m_n) \cdot x_n + P(b)$$

A questo punto non si ha più un valore unico per la stima di costo, ma una distribuzione di probabilità della stessa e l'utilizzatore è così in grado di scegliere il range di probabilità all'interno del quale cadrà il costo reale di costruzione. Si ha a che fare, quindi, con un concetto “probabilistico” di una stima di costo. Questo secondo metodo di calcolo, rispetto a quello deterministico, può essere uno strumento molto più efficace ed elastico, in quanto permette di fare una previsione all'interno di due valori (uno ottimistico ed uno pessimistico) che individuano i limiti di spesa all'interno dei quali il committente si pone. La facilità del metodo così descritto permette, inoltre, che lo stesso sia applicabile in diverse forme a situazioni diverse. E' questo il caso, per esempio, per il quale i dati (seguendo il procedimento *probabilistico*) possono essere trattati seguendo diverse curve di distribuzione di probabilità; non sempre, infatti, è detto che i casi di studio possano adattarsi in maniera corretta ad una distribuzione, per esempio normale (gaussiana). Quando ciò avvenisse, il sistema di stima dei costi permette l'introduzione di una nuova curva di calcolo delle probabilità. Questa possibilità consente anche un confronto diretto fra le diverse scelte di distribuzione,

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

permettendo all'utilizzatore di individuare quella che, secondo la sua esperienza, meglio si avvicina ai casi reali. Questo è quanto è stato fatto anche in questa tesi, dal confronto delle diverse distribuzioni per ogni caso in esame, si è scelta quella triangolare. Non è detto che la preferenza espressa sia sempre quella più adatta, ma nel caso di studio risultava essere la migliore, per quanto tutte e quattro le funzioni di distribuzione di probabilità selezionate (*distribution fitting*, normale, triangolare e PERT) andassero a descrivere curve piuttosto vicine, specialmente nei tratti centrali (quelli intorno al 50%). Uno sviluppo interessante a questo riguardo sarebbe un confronto fra queste diverse distribuzioni qualora i casi di studio non riguardassero più una tipologia edilizia di carattere residenziale, ma costruzioni o infrastrutture di altro genere. O, ancora, si potrebbero coinvolgere progetti di diversi costruttori e analizzare come variano le curve di probabilità quando cambia l'azienda appaltatrice.

I risultati ottenuti indicano che il metodo applicato potrebbe rendere più agevole il lavoro delle pubbliche amministrazioni e delle imprese private coinvolte nelle iniziative di *project financing* nella valutazione dei costi di interventi di costruzione. Si può giungere a queste conclusioni pensando alla facilità con la quale per ogni progetto si possono individuare i parametri caratteristici da inserire, alla semplicità di utilizzo che non obbliga l'utente a conoscere per forza il significato matematico degli strumenti impiegati, o anche alla facile leggibilità dei risultati ai quali il metodo conduce. Si può quindi affermare che la forza di questo metodo risiede nella sua praticità e apertura a modifiche a tutti comprensibili.

Un'ulteriore area di approfondimento potrebbe essere innanzitutto quella che riguarda la ristrettezza dei casi di studio dai quali si è partiti per capire a quali esiti di predittività si sarebbe pervenuti qualora il data-set fosse stato più ampio e variegato. E' altresì evidente che la carenze delle nozioni impiantistiche e delle prestazioni energetiche hanno non poco influito sulla scelta di certi passaggi di una certa rilevanza; sotto il profilo degli impianti e dell'EPH, infatti, i progetti presentano un'evidente eterogeneità che, però, ha potuto essere valutata solo in maniera sommaria per via della pochezza delle informazioni disponibili.

Inoltre, non è stato posto alcun quesito riguardante l'obsolescenza dei dati, partendo dal presupposto che tutte le fonti utilizzate fossero da considerarsi ugualmente valide. Ciò non significa che non siano valide, ma che ci si dovrebbe domandare quale potrebbe essere un limite per così dire "standardizzato", al di là del quale i progetti usati come termini di riferimento potrebbero risultare superati: quali siano le condizioni sotto delle quali i progetti iniziali vanno sostituiti da altri più recenti- Queste domande sono strettamente legate ad un'altra peculiarità del metodo trattato in questa tesi, rappresentata dall'essere aperto ad infinite modifiche del data-set iniziale. La possibilità di aggiornamento dei dati di partenza risulta essere un elemento di non poco conto se si pensa alla volatilità dei prezzi di vendita

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

delle materie prime, oppure alla rapidità con cui le tecniche costruttive si modificano nel corso degli anni. Permettere ad un metodo di stima dei costi applicato al campo dell'edilizia la possibilità di aggiornamento rende il metodo sempre utilizzabile. Questo sistema di stima si presta ad essere utilizzato in maniera ciclica, cioè senza apportarvi alcuna modifica; oppure prevede due usi migliorativi differenti, per mezzo dei quali si possono affinare le previsioni di stima: il primo vuole che si aumenti il data-set senza aumentare i parametri. In tale maniera si otterranno valori dei coefficienti di regressione  $m_n$  e  $b$  sempre più precisi. Il secondo uso migliorativo permette, invece, all'aumentare dei progetti di riferimento, un accrescimento del numero dei parametri, garantendo l'inserimento di elementi di valutazione che precedentemente si è stati obbligati a tralasciare o a considerare inglobati con altri.

Potrebbe avere risvolti interessanti anche il confronto di questa tecnica con altre. Per esempio, in questa tesi non si è fatto ricorso ad una rete neurale di calcolo per la stima dei costi a causa del ristretto numero di progetti in esame. Una volta ampliato il data-set a dimensioni sufficienti, si potrebbero confrontare i risultati ottenuti con il metodo qui studiato con una stima prodotta da un ANN. Oppure si potrebbe prendere in considerazione l'evenienza che qua non ha trovato spazio di usare sistemi di misura e controllo di altro genere, che partano da approcci totalmente diversi, quali, ad esempio, la *logica fuzzy*.

La sempre maggior efficienza imposta dalla minore disponibilità di risorse finanziarie, lo sviluppo delle capacità offerte dall'informatica e l'evoluzione dei modelli di stima rivestono un ruolo sempre più importante e alla quale si dovrà dedicare sempre maggiori attenzioni. Questa tesi dimostra che l'applicazione di metodi e processi semplici, ma logici unitamente ad informazioni di progetto anche non eccessivamente dettagliate possono generare strumenti di stima dei costi precisi, giustificatamente affidabili, aggiornabili e adattabili alle necessità dell'utenza e della tipologia edilizia in esame.

## BIBLIOGRAFIA

- Bassi A. *Costi parametrici per tipologie edilizi*, Milano, Maggioli S.p.A. (2007)
- Sheldon M. Ross, *Probabilità e statistica per l'ingegneria e le scienze*, Apogeo (2008)
- Luigi Fabbris, *Statistica multivariata*, McGraw Hill (1997)
- Giuseppe Rigamonti, *La gestione dei processi di intervento edilizio*, UTET (2001)
- Bernd A. Berg: *Markov Chain Monte Carlo Simulations and Their Statistical Analysis (With Web-Based Fortran Code)*, World Scientific.(2004)
- Cavaliere S., Maccarone P., Pinto R.: *Parametric vs. neural network models for the estimation of product costs: A case study in the automotive industry*, <<http://www.elsevier.com/locate/buildenv>>, (Agosto 2003).
- Collegio degli Ingegneri e degli Architetti di Milano *Prezzi tipologie edilizie 2010*, Milano, DEI. (2010)
- Eurostat: *Construction Cost Index Overview*, < [http:// www.epp.eurostat.ec.europa.eu](http://www.epp.eurostat.ec.europa.eu)> 2008, agg. 2010
- Gwang-Hee Kim, Jie-Eon Yoon, Sung-Hoon An, Hun-Hee Cho, Kyung-In Kang: *Neural network model incorporating a genetic algorithm in estimating construction costs*, <<http://www.elsevier.com/locate/buildenv>>, (Marzo 2004)
- Klir GJ, Yuan B. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic. Theory and Applications.*, Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall. (1995)
- Mamdani EH., Assilian S. *An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller*. International Journal of Man-machine Studies, Vol. 7, p. 1-13. (1975)
- Marzeguerra M, Zio E.: *Basic theory of Monte-Carlo for reliability, availability and maintenance analysis*. Politecnico di Milano (febbraio 2006)
- Sae-Hyun Ji, Hyun-Soo Lee: *Data Preprocessing – Based Parametric Cost Model for Building Projects: Case Studies of Korean Construction Projects*, <[http:// www.cedb.asce.org](http://www.cedb.asce.org)>, (Agosto 2010)
- Sonmez R., Bahadir Ontepeli: *Predesign cost estimation of urban railway projects with parametric modeling*, <[http:// www.cedb.asce.org](http://www.cedb.asce.org)>, (Luglio 2009)

## STIMA PARAMETRICA DEL COSTO DI COSTRUZIONE

Individuazione di un metodo di stima, in fase di progettazione preliminare, del costo di costruzione tramite l'uso delle regressioni lineari

---

Sonmez R., Ergin A., Birgonul T.: *Quantitative methodology for determination of cost contingency in international projects*, Journal of construction engineering and management, p.35-39. (Gennaio 2007)

Sonmez R., Ontepeli B.: *Predesign cost estimation of urban railway projects with parametric modeling*, Journal of construction engineering and management, p.405-409. (Luglio 2009)

Sonmez R., Rowing E. James: *Construction Labor Productivity Modeling with Neural Networks*, <[http:// www.cedb.asce.org](http://www.cedb.asce.org)>, Novembre 1998

Sonmez R.: *Conceptual cost estimation of building projects with regression analysis and neural networks*, Can.J.Civ.Eng, p. 677-683. (2004)

Sonmez R.: *Parametric range estimating of building costs using regression models of bootstrap*, Journal of construction engineering and management, p.1011-1016. (Dicembre 2008)

Sonmez R.: *Parametric Range Estimating of Building Costs Using Regression Models and Bootstrap*, <[http:// www.cedb.asce.org](http://www.cedb.asce.org)>, Dicembre 2008

Sugeno M: *Industrial Applications of Fuzzy Control*. Elsevier, Amsterdam, NL. (1985)

W.K Hastings: *Monte Carlo sampling methods using Markov chains and their applications*, *Biometrika*,; p.57: 97-109. (1970)

Zadeh LA: *Fuzzy sets. Information and Control*, Vol. 8, 1965, p. 338-353. (1965)

Zio E., Baraldi P., Patelli E.: *Assessment of the availability of an offshore installation by Monte Carlo simulation*. Politecnico di Milano (febbraio 2006)

Zio E., Cadini F., Avram D.: *Model- based Monte Carlo state estimation for condition-based component replacement*. Politecnico di Milano (2008)