



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Gestionale

**Tecniche di previsione del numero di Dispositivi di Protezione Individuale per
il Comitato Regionale Marche della Croce Rossa Italiana**

**Techniques for forecasting the number of Personal Protective Equipment for
the Marche regional committee of the Italian Red Cross**

Relatore:

Prof.ssa Ornella Pisacane

Tesi di Laurea di:

Giuseppe Mancini

matr. 1090012

Correlatore:

Dott. Giovanni Ceccaroni

A.A. 2020 / 2021

ABSTRACT

La tesi affronta lo studio del fabbisogno di servizi emergenziali per il Comitato Regionale delle Marche della Croce Rossa Italiana (CRI). Sulla base dei dati storici della domanda dei Dispositivi di Protezione Individuali (DPI), sono stati studiati e successivamente utilizzati metodi previsionali, sia con tendenza stazionaria (ad esempio, la media mobile, la media mobile ponderata e lo smorzamento esponenziale) che con tendenza lineare (ad esempio, il metodo di Holt e di regressione lineare). È stato inoltre misurato l'errore quadratico medio per misurare l'accuratezza delle tecniche adottate e per calibrare correttamente i parametri dei vari modelli, in modo tale da ottenere le soluzioni più accurate possibili. Il metodo di regressione lineare è stato utilizzato anche come metodo causale per individuare la dipendenza del fabbisogno di DPI da altre variabili indipendenti. È stato, infine, implementato, usando il linguaggio di modellazione algebrica AMPL, un metodo di ottimizzazione con domanda variabile per una gestione più efficiente delle scorte di DPI, per stabilire la quantità di riordino ottimale in modo da minimizzare i costi di gestione del magazzino. Sia i metodi previsionali che il modello di ottimizzazione sono stati utilizzati su un'istanza reale fornita dal comitato regionale Marche della CRI.

CAPITOLO 1

1.1 Introduzione

In questo lavoro di tesi, si è focalizzata l'attenzione in primis sulla previsione del numero di servizi di emergenza del comitato regionale Marche della CRI. Rispetto agli anni passati, la domanda di Dispositivi di Protezione Individuale ('DPI') ha avuto una sensibile variazione, dovuta all'avvento della pandemia di COVID-19 iniziata nello scorso 2020. I DPI erano considerati un bene con una domanda standard e facile da prevedere anche con tecniche basilari. Nell'ultimo anno abbiamo invece assistito a un aumento vertiginoso della richiesta, rendendo difficile la reperibilità di questi prodotti, poiché nonostante fossero diventati di utilizzo da parte di tutta la popolazione, i produttori hanno tardato ad aumentarne la fabbricazione, lasciando la domanda non pienamente soddisfatta. Tale tematica è di importanza strategica e richiede l'utilizzo di tecniche quantitative per una corretta ottimizzazione degli ordini di DPI da assicurare per i periodi futuri. La CRI in ogni regione è suddivisa in più comitati dislocati in tutto il territorio. Nelle Marche la sede regionale è situata ad Ancona e coordina un totale di trentatré comitati, alcuni dei quali con più sezioni, per un totale di quarantuno sedi operative. La difficoltà del calcolo esatto dei DPI aumenta considerando la necessità di stabilire con precisione il numero richiesto per ogni sede. La categoria di questi servizi sanitari protettivi è molto vasta e include ogni indumento ufficialmente riconosciuto per la tutela di un individuo da infortuni sul lavoro, rischi chimici o di infezioni. Nello specifico gli operatori della CRI hanno in dotazione le mascherine FFP2/FFP3, guanti protettivi monouso, camici o tute con copricapo anch'essi monouso, calzari e occhiali protettivi riutilizzabili. Non tutte le attività richiedono il costante utilizzo del kit protettivo completo, ma il protocollo di prevenzione del contagio impone comunque l'utilizzo di ogni DPI a disposizione in tutte operazioni di soccorso, anche non legate al COVID-19, a causa dell'impossibilità di conoscere preventivamente l'eventuale positività delle persone soccorse. Come si può facilmente intuire, il fabbisogno dei dispositivi di protezione individuali è aumentata in maniera vertiginosa a causa dell'attuale pandemia. Le criticità per il Comitato Regionale delle Marche sono state caratterizzate sia da una difficoltà di reperire questi beni fondamentali, sia dalla mancanza di tecniche più sofisticate che aiutassero a calcolarne il fabbisogno. La domanda di DPI fino a due anni fa era infatti costante, caratterizzata da numeri molto inferiori a quelli attuali e con una filiera produttiva e distributiva affidabile. Era pertanto possibile stabilire accuratamente il fabbisogno di DPI per tutte le sedi regionali, senza utilizzare tecniche particolarmente sofisticate. Era inoltre possibile diminuire il numero di ordini ai fornitori, limitando gli acquisti a intervalli trimestrali o addirittura semestrali, senza avere troppi costi di riordino, contenendo comunque le spese di gestione dei magazzini grazie agli esigui numeri di servizi emergenziali da stoccare. La caratteristica della filiera dei DPI era inoltre quella di essere richiesti solo da determinate categorie di utilizzatori, mentre ora i DPI sono diventati di utilizzo comune da parte di tutta la popolazione e non più di singole organizzazioni o enti che richiedevano i dispositivi protettivi solo per scopi professionali. All'inizio della pandemia il reperimento di DPI quali mascherine protettive e i guanti monouso è risultato complesso. Si è rivelato dunque fondamentale adottare delle tecniche più sofisticate basate su metodi matematici, descritti nel campo dell'analisi della domanda in

ambito industriale, per risolvere questi problemi di reperibilità dei servizi emergenziali da parte del Comitato delle Marche della Croce Rossa Italiana. La parte della logistica che gestisce problemi di questo tipo è chiamata Logistica Emergenziale. Questa materia si basa proprio sulla sfida di garantire, pianificare e gestire in modo ottimale il flusso di beni in un contesto colpito da una calamità o una situazione di emergenza, avvalendosi di tutte le tecniche disponibili. Un altro aspetto, a stretto contatto con la previsione del fabbisogno dei DPI, che necessita di un miglioramento, è quello della gestione del magazzino. Considerando la variazione della domanda si è verificata una diminuzione dell'intervallo temporale tra due ordini. L'ingente numero di beni da conservare tenderà a diventare un costo di gestione che dovrà essere minimizzato. Anche in questo caso non sono mai state utilizzate delle tecniche più sofisticate che decretassero come minimizzare le voci di costo, stabilendo il numero ottimale di dispositivi da ordinare in ogni periodo.

In questo lavoro di tesi vengono quindi proposte delle tecniche e dei metodi matematici che analizzano l'andamento del fabbisogno dei servizi emergenziali necessari per il Comitato Regionale delle Marche della Croce Rossa Italiana. La principale parte di questo lavoro è stato fatto studiando degli accurati metodi di previsione quantitativi, basati sulle serie temporali costruite sui dati storici messi a disposizione dalla CRI. Questa parte del lavoro ha preso in esame diversi metodi, come la media mobile semplice e ponderata, lo smorzamento esponenziale, la regressione lineare e il metodo di Holt, per confrontare i vari risultati e capire come impostare i parametri minimizzando gli errori e arrivare a una soluzione più precisa. La regressione lineare è stata adottata anche con lo scopo di trovare una retta interpolante che non dipendesse dal tempo, a differenza dei metodi precedenti, ma che mettesse in relazione il fabbisogno dei dispositivi di protezione individuali con una causa esterna, ad esempio il numero di contagi da COVID-19. In questa parte basata sui metodi causali, oltre a confrontare i risultati ottenuti, si stabilisce l'effettiva dipendenza tra un fenomeno e l'altro.

Successivamente è stato effettuato uno studio sulle tecniche di gestione delle scorte, per capire come ottimizzare la gestione dei magazzini, dando la giusta importanza alle scorte di emergenza e minimizzando i costi di gestione. La tecnica in questione si è basata su un modello deterministico che ha le caratteristiche di domanda variabile, come quella dei dati storici dei DPI. Per un'organizzazione come la Croce Rossa Italiana, che solo nelle Marche ha trentatré comitati dislocati in tutto il territorio, la gestione del magazzino è fondamentale, considerando la previsione del fabbisogno dei DPI a intervalli settimanali e dei riordini che non hanno una costanza nel tempo.

1.2 Motivazioni

Questo lavoro è stato caratterizzato dalla necessità di risolvere un problema che per la Croce Rossa Italiana è emerso a causa delle circostanze eccezionali provocate dall'epidemia di COVID-19. La variazione e la difficoltà di previsione del fabbisogno di DPI hanno evidenziato le limitazioni della tecnica adottata fino a quel momento, rendendo indispensabile l'adozione di metodi molto più sofisticati, che vanno a studiare il fabbisogno nel breve futuro, adottando delle tecniche matematiche al loro supporto. Questo cambiamento si è reso necessario al fine di evitare gravi problemi come la mancanza di dispositivi da fornire a tutti gli operatori, o per

ridurre i possibili costi rappresentati da ordini straordinari fatti per soddisfare la domanda in un particolare periodo. Le difficoltà da parte della Croce Rossa nel gestire il fabbisogno dei dispositivi di protezione dipendono dalla struttura di tale organizzazione. Gli ordini vengono gestiti dal Comitato Regionale, con la sede ad Ancona, che successivamente li distribuisce alle trentatré sedi nel territorio delle Marche. Considerando inoltre che non tutte le sedi hanno compiti straordinari legati alla gestione dell'emergenza, ma che l'equipaggiamento anche per i compiti tradizionali deve essere completo per evitare possibili contagi degli operatori, lo studio del fabbisogno con delle tecniche più avanzate risulta indispensabile. Questo lavoro si impegna quindi a fornire al Comitato Regionale delle Marche un buon metodo per l'analisi del fabbisogno dei servizi emergenziali, che possa essere adottato con continuità anche a fine pandemia, con un lento ritorno dell'utilizzo dei DPI a livello normale. Non è sempre detto comunque che il livello di produzione e di richiesta di mascherine e guanti possa tornare rapidamente ai livelli pre-pandemia, considerando come la situazione attuale abbia anche cambiato le abitudini di tutta la popolazione, comportando una variazione del mercato e di tutta la catena distributiva. Questi risultati sono dunque applicabili anche nel lungo termine, e non solo nella situazione attuale per risolvere rapidamente i problemi causati dalla pandemia.

Parte del lavoro è anche focalizzato sulla definizione di una possibile relazione di causalità tra contagi e domanda di DPI. Il risultato può essere significativo soprattutto per determinare il livello di richiesta di servizi sanitari che non dipendono dalla pandemia, oltre a quello effettivamente dipendente.

Un'altra parte dello studio si concentra sulla definizione di un metodo deterministico per la migliore gestione delle scorte. In tale ambito, la logica adottata dal Comitato Regionale della CRI teneva conto di un livello di scorte di sicurezza. È stato quindi scelto un metodo che tenesse conto di questo dettaglio. In questa parte dello studio si esaminano delle tecniche di ottimizzazione del magazzino del Comitato Regionale, considerando sia la presenza di costi fissi di gestione del magazzino e di riordino, sia i costi variabili di giacenza e acquisto dipendente da ogni singolo bene. Anche questa soluzione ha l'ambizione di poter essere adottata dalla CRI in futuro, per il magazzino principale e delle varie sedi, con l'obiettivo di fornire dei risultati gestionali validi anche con il ritorno a una situazione di normalità.

1.3 Obiettivi

La tesi in questione ha lo scopo di proporre delle tecniche per individuare il fabbisogno settimanale dei dispositivi di protezione individuali. Utilizzando esclusivamente metodi quantitativi per l'analisi della domanda di DPI, verranno fornite delle informazioni per le future decisioni logistiche e operative. Il lavoro svolto si basa su un orizzonte temporale medio-breve, avvalendosi dei dati storici degli ultimi mesi. Dopo aver studiato alcuni tra i più validi metodi a disposizione e l'andamento temporale della domanda di servizi sanitari, è stato deciso di utilizzare delle tecniche che dimostrassero una continuità della tendenza della richiesta di tali beni. Lo studio vuole quindi dimostrare come la domanda dei dispositivi di protezione individuale sia priva di stagionalità e ciclicità, avendo una tendenza lineare continua e regolare. Per questo motivo sono state scelte delle tecniche apposite come la regressione

lineare e il metodo di Holt, che stabiliscono due componenti con le quali descrivere la previsione sotto forma di una retta. Questi metodi possono successivamente essere migliorati al fine di ottenere risultati più accurati, calibrando i parametri contenuti in questi modelli in modo da minimizzare gli errori derivanti dalle previsioni pregresse, calcolati con i metodi di errore medio assoluto, errore medio percentuale ed errore medio quadrato.

Nello studio in esame si adottano anche altri metodi, che solitamente portano a risultati stazionari, in modo tale da comprendere come impostare determinati parametri per ottenere un risultato coerente con le altre modellazioni, a supporto dei loro risultati. I metodi di media mobile semplice e ponderata e il metodo di livellamento esponenziale subiscono infatti maggiormente l'influenza dei dati storici. Impostando i loro parametri sempre in funzione della minimizzazione degli errori, si è voluto dimostrare l'utilità anche di questi metodi che sono più semplici e portano a soluzioni con assenza di tendenza lineare.

Uno degli obiettivi principali di questo elaborato è anche quello di provare una possibile dipendenza tra il fabbisogno effettivo di servizi sanitari e una causa esterna. Al contrario dei metodi precedentemente elencati, che sfruttavano un'estrapolazione dalle serie storiche per delineare la previsione in funzione degli intervalli temporali, il metodo causale successivamente studiato ha voluto evidenziare un rapporto di dipendenza dal numero di contagi da COVID-19. Il grave problema logistico che ha colpito la CRI e tutti i suoi comitati regionali, oltre a tutte le organizzazioni e gli enti che lavorano nel campo sanitario, è ovviamente dipeso dallo svilupparsi della pandemia. L'aumento della richiesta di dispositivi di protezione individuali è stata una conseguenza diretta, poiché la CRI ha anche compiti riguardanti l'emergenza covid. Nonostante i protocolli da seguire da parte del personale prevedano l'utilizzo del kit completo dei servizi emergenziali anche in operazioni standard, questo studio vuole provare una componente di dipendenza dal numero di contagi nel calcolo del fabbisogno dei DPI. Il metodo che è stato utilizzato è stato quello della regressione lineare, in modo da dare risultati coerenti con i metodi estrapolativi per un confronto tra i risultati ottenuti.

Lo studio delle tecniche di gestione delle scorte ha lo scopo di garantire un risultato ottimale per una corretta e strategica gestione del magazzino. Il modello deterministico di Wagner e Within che è stato adottato prende in considerazione una domanda variabile per ogni intervallo di tempo. Il modello ha l'obiettivo di proporre una quantità ottimale di riordino per ogni periodo, minimizzando la funzione di tutti i costi previsti.

1.4 Struttura della tesi

Nel secondo capitolo di questo elaborato verrà fatta una disamina sugli aspetti letterari che riguardano i temi trattati. Verrà descritta in maniera più approfondita la logistica emergenziale, con le sue applicazioni e le motivazioni che hanno portato allo sviluppo di una materia gestionale così importante in circostanze eccezionali. Verrà descritto allo stesso modo il problema della previsione del fabbisogno di beni in ambito industriale e le tecniche di analisi della domanda. Saranno definite le differenti metodologie delle tecniche qualitative e di quelle quantitative, che verranno utilizzate nel seguito della tesi poiché sono più adatte a un

intervallo di tempo di medio termine. Verrà successivamente descritto il problema delle politiche di gestione delle scorte a magazzino.

Nel terzo capitolo verrà effettuata una descrizione del problema della reperibilità dei dati. In questa parte verranno utilizzate delle tecniche per il processamento di tutte le informazioni disponibili, in modo tale da ottenere dei valori accurati per ogni periodo. Utilizzando i dati forniti dalla CRI, oltre allo storico delle ospedalizzazioni causate dalla pandemia, è stato possibile ottenere i valori periodici di consumo dei DPI. Questa parte prevede il processamento, aggregazione e trasformazione dei dati, che avranno l'importanza di definire la serie storica sulla quale si baseranno i metodi estrapolativi selezionati.

Nel quarto capitolo verranno descritti in maniera formale i metodi quantitativi che saranno utilizzati nel lavoro di analisi del fabbisogno durante la fase sperimentale. La prima parte descriverà i metodi estrapolativi delle serie storiche, specificando la validità scientifica della decisione di utilizzare i metodi con tendenza lineare o stazionaria rispetto ad altri con caratteristiche non idonee per il caso studiato. Verranno definiti in maniera più dettagliata i metodi della media mobile, della media mobile ponderata, dello smorzamento esponenziale, della regressione lineare e di Holt. Verrà poi descritto il metodo causale utilizzato per ottenere dei risultati concordi con quelli precedenti. Verrà descritto il modello deterministico di Wagner-Whitin per la gestione delle scorte con una domanda variabile. La logica dietro al modello sarà quella di avere una quantità di riordino che sarà il risultato ottenuto tramite modellazione matematica, minimizzando la funzione di tutti i costi presenti. Verrà descritta ogni variabile e parametro della funzione e dei vincoli.

Nel quinto capitolo verrà effettuata una descrizione della parte sperimentale con un'analisi dei risultati ottenuti. Verranno descritti i risultati dei vari modelli implementati nel software Excel per il corretto calcolo dei dispositivi di protezione individuali. Verranno esposti i metodi di calcolo dell'errore e la calibrazione dei parametri fino ad ottenere un risultato quanto più ottimale. Verranno descritti i metodi di ottimizzazione dei parametri in funzione degli errori calcolati con il metodo dell'errore medio percentuale. Verranno descritti i risultati derivanti dal modello causale di regressione lineare, confrontandolo con gli altri metodi adottati. Verranno poi discusse le soluzioni ottime delle tecniche deterministiche della gestione delle scorte a magazzino, calcolate in AMPL. Verranno infine fornite le conclusioni derivanti dal lavoro. La parte conclusiva descriverà i possibili sviluppi del lavoro effettuato.

CAPITOLO 2

2.1 Introduzione

In questo capitolo, verranno descritte le tecniche utilizzate nel corso della tesi, dando degli esempi di applicazione nell'ambito della logistica emergenziale. Verrà effettuata una disamina sulla storia e sull'importanza di questa particolare branca della Logistica, spiegando le situazioni per la quale è nata ed ha trovato sviluppo. In questa parte ci sarà una descrizione delle caratteristiche principali della materia, spiegando le differenze rispetto alle normali tecniche della logistica in ambito industriale. Verrà spiegato come il problema trattato successivamente possa essere ricondotto a questo ambito, descrivendo le motivazioni che hanno portato alla scelta dei determinati metodi previsionali.

Nella parte di esposizione di questi modelli verrà fatta una descrizione dello studio dei metodi previsionali. Verranno spiegate le motivazioni che hanno portato allo sviluppo della previsione in logistica, descrivendo i diversi metodi divisi tra qualitativi e quantitativi, focalizzando l'attenzione su questi ultimi in modo tale da spiegare tutte le fasi che accompagnano la scelta di un metodo previsionale. Verrà descritto il campo applicativo di una particolare tecnica e i periodi nel quale agisce, facendo alcuni esempi sugli utilizzi più frequenti di questi metodi. Successivamente verrà descritto l'importante processo dell'acquisizione dei dati, spiegando come sia importante lo sviluppo di tecniche informatiche a supporto di questa fase. Ugualmente importante è la parte che spiegherà i vari processi di processamento e validazione dei dati, prima di utilizzarli per l'effettiva creazione di una serie storica. Questa parte servirà a spiegare le scelte dei metodi di previsione, descrivendo come ogni tipologia sia differente e adatta a particolari casi. In questo modo verrà descritta la natura del problema, per il quale saranno utilizzate più tecniche valide in questa particolare situazione. Successivamente verranno spiegati i metodi di misura degli errori, utili soprattutto per la calibrazione dei modelli, nonché gli strumenti più utili al monitoraggio della previsione.

Ogni metodo adottato verrà spiegato dal punto di vista matematico che ha portato a tale formalizzazione, descrivendo i casi applicativi più noti, specialmente nelle situazioni emergenziali. Verrà descritto in particolare il metodo di Holt e dello smorzamento esponenziale, spiegando le loro somiglianze, sia per gli ambienti in cui sono stati proposti che per le affinità matematiche. Tra le altre tecniche utilizzate ci sono la media mobile semplice e ponderata, le quali verranno descritte chiarendone l'efficacia per questo studio. Verrà infine proposta una disamina sulla regressione lineare, spiegandone i punti di forza nell'applicazione di questo metodo con le serie storiche e descrivendo le modalità in cui viene utilizzata come metodo causale. Verranno fatti alcuni esempi sulla possibilità di utilizzare un rapporto di dipendenza lineare nello studio del fabbisogno di DPI.

Nella parte conclusiva di questo capitolo verrà proposto il problema della gestione delle scorte, il quale è strettamente legato all'analisi della domanda di un prodotto. Oltre a spiegare alcuni dei metodi di gestione degli ordini più noti, verranno proposte soluzioni specifiche per il caso studiato, descrivendo come in campo emergenziale siano diverse le priorità e le caratteristiche rispetto all'ambito industriale.

2.2 Stato dell'arte

2.2.1 Logistica emergenziale

Le situazioni di emergenza caratterizzano uno dei campi applicativi della logistica più delicati, in cui è fondamentale una corretta pianificazione dei flussi di beni e di materiali. Tra gli aspetti che complicano maggiormente il lavoro ci sono la mancanza di determinati beni, facilmente reperibili in altre situazioni, una scarsità di informazioni, che generalmente portano a problemi di coordinazione e di comunicazione, e la difficoltà di adattare rapidamente a nuovi contesti delle particolari tecniche risolutive. La logistica è stata utilizzata in maniera innovativa in ambito emergenziale a partire dagli anni '70, ma è stata sviluppata in modo concreto, appositamente per queste situazioni, a partire dagli anni '80. Questa recente branca della Logistica è stata quindi utilizzata soprattutto per la gestione efficiente di terremoti, alluvioni o altre calamità naturali (1). La logistica emergenziale può infatti essere divisa in due particolari settori. Il primo agisce per la tutela di persone e beni di ogni tipo coinvolti in un particolare evento. Il secondo, il quale verrà trattato in questo documento, si occupa dell'ottimizzazione del flusso di materiali o servizi indispensabili per contrastare il particolare evento. Queste sono generalmente operazioni successive al disastro, le quali si dividono ulteriormente in tutte le possibili tecniche a supporto di una catena distributiva. Gli ambiti principali sono quello di individuare dei possibili fornitori dei beni richiesti, stabilire le rotte di trasporto ottimali, gestire le scorte e i magazzini e prevedere la quantità dei servizi richiesti nei periodi successivi. Queste operazioni derivano dalla loro normale applicazione nella logistica in ambito industriale. Le situazioni di emergenza portano tuttavia a scenari inediti, caratterizzati da maggiori difficoltà rispetto a una normale situazione. Basti pensare a come sia stato necessario delineare un'operazione di approvvigionamento di beni essenziali in occasione del sisma di Haiti del 2008. Questo è uno degli eventi storici più significativi in cui la logistica emergenziale è stata in grado di operare con successo. La particolarità di questo evento è stata la mancanza di servizi essenziali nei giorni successivi al terremoto, dove è stato necessario adottare un piano mirato per reperire, trasportare, immagazzinare e distribuire capillarmente alcuni beni particolari. Ognuna di queste operazioni può essere ricondotta a normali tecniche utilizzate anche in campo industriale, con il problema di avere delle condizioni di partenza più svantaggiose e con alcune complicazioni in più. Nell'ambito della previsione di beni, le normali tecniche di analisi della domanda rischiano di essere inutilizzabili, poiché nell'esempio dei DPI l'utilizzo di questi prodotti cambia sensibilmente dall'inizio del periodo di emergenza. Questo rende i dati storici meno recenti impossibili da utilizzare. Al contrario le informazioni sulla domanda dei periodi più recenti hanno la possibilità di descrivere in maniera precisa la tendenza di fabbisogno di un bene, tuttavia a inizio pandemia questi dati sono spesso troppo pochi per un calcolo adeguato. Nell'ambito dello studio della domanda dei beni essenziali, l'utilizzo di serie storiche è solo uno dei possibili metodi di previsione, alcuni dei quali stocastici e quindi meno precisi. Il lavoro presentato in questa tesi si avvale della possibilità di utilizzare dei dati numericamente sostanziosi, essendo stato svolto dopo un determinato periodo dall'inizio della pandemia di COVID-19. Questo ha dato la possibilità di sfruttare delle tecniche di estrapolazione dei dati storici, i quali non sarebbero

stati sufficienti nell'immediato inizio della situazione emergenziale. Questo documento descrive quindi un lavoro svolto nell'ambito della logistica emergenziale, ma con delle caratteristiche differenti rispetto ad altre situazioni di emergenza, nelle quali non è efficace l'utilizzo delle tecniche previsionali basate sulle serie storiche (2).

L'approccio per risolvere i problemi previsionali in queste situazioni è quello di stabilire il miglior modello a disposizione, analizzando il caso specifico. La riuscita e l'applicazione della tecnica corretta dipende dalla corretta formulazione del problema, riuscendo a stabilire efficacemente la natura del fenomeno che si vuole analizzare. Questo ragionamento basato su casi porta ad applicare una tecnica valida per problemi precedenti, ritenuti simili a quello attuale. La riuscita di questo metodo dipende dalla corretta individuazione dei dati necessari, che nei primi periodi può essere particolarmente complessa. Questo dipende dalla scarsità di informazioni a disposizione e dalla loro possibile scarsa qualità, con dei dati anomali che devono necessariamente essere esclusi. Il processo di selezione dei dati è fondamentale per l'utilizzo di tecniche basate sulle serie storiche. In un primo momento è necessario stabilire il possibile andamento dei beni che si devono prevedere, con delle possibili tendenze, ciclicità, stagionalità o irregolarità. Nella ricerca operativa e nelle relative applicazioni, può essere utilizzata la teoria dell'analisi delle serie temporali in modo flessibile ed efficace nel campo della previsione della domanda di emergenza. Come studi recenti hanno indicato, diversi metodi di previsione, come l'integrazione di modelli a media mobile e modelli di livellamento esponenziale, sono stati ampiamente adattati alla domanda totale e dinamica per le stime delle risorse di emergenza. Un vantaggio principale di questo approccio è che può rilevare modelli nelle serie di domanda che non sono legati a variabili osservabili. Tuttavia, la debolezza di questi approcci è che i modelli di serie temporali richiedono informazioni sulla domanda precedente, spesso in questo caso le informazioni precedenti nelle emergenze più urgenti sono incomplete o difficili da ottenere (3).

2.2.2 La previsione in logistica

Le basi della previsione logistica in campo emergenziale si basa quindi sui classici metodi di analisi della domanda in un sistema logistico. Le informazioni per lo studio del fabbisogno sono fondamentali e si dividono in due tipologie. Le previsioni qualitative, che non sono particolarmente utili in un contesto emergenziale, si basano su accurate indagini svolte da esperti per analizzare la possibile domanda di un determinato prodotto nel lungo periodo. I dati qualitativi sono poco accurati e dipendono troppo dall'esperienza dell'operatore umano che conduce lo studio, in più sono caratterizzati dalla soggettività. In ambito industriale vengono utilizzati questi metodi principalmente per studiare il potenziale di un nuovo prodotto che potrà essere lanciato sul mercato nei prossimi cinque anni. Molto spesso si basano sull'esperienza manageriale per questi tipi di decisioni. Altri metodi utilizzano delle indagini di mercato, mentre il metodo Delphi si basa sulla raccolta di informazioni tramite questionario, somministrato a molti esperti dislocati in diverse zone geografiche. Le informazioni che vengono raccolte con questi particolari metodi qualitativi sono molto spesso valide e precise per lo scopo che hanno, ma non possono essere considerate di aiuto nel medio o breve periodo. In questi intervalli di tempo è infatti necessario adottare i metodi quantitativi,

i quali si basano su modelli matematici che garantiscono un risultato tangibile di previsione. Vengono utilizzati principalmente in ambito industriale per poter stabilire le quantità di prodotti finiti da avere a disposizione per le vendite. Questi modelli si basano sui dati storici e sulla loro qualità e quantità. I metodi più semplici e noti adottano l'extrapolazione del modello tramite le serie temporali di tutti gli intervalli precedenti. Questi metodi hanno diversi gradi di precisione ed efficacia e possono variare in base alla natura della serie. La loro rappresentazione è effettuata tramite l'attribuzione di un valore a un determinato intervallo. Le serie storiche esprimono quindi una grandezza in funzione del tempo. La scelta del modello corretto è una fase molto delicata e dipende strettamente dalle caratteristiche della serie temporale sulla quale verrà adattato. Le componenti principali che vanno analizzate sono: tendenza, stagionalità, ciclicità di lungo periodo e residuo. La tendenza descrive l'andamento dominante nel tempo, che può essere crescente, decrescente o stazionaria. La tendenza solitamente è lineare o quadratica, ma raramente può avere anche crescite a velocità maggiori. La stagionalità è presente solo quando una serie ha gli stessi comportamenti di crescita e di decrescita che si ripetono in intervalli di uguale lunghezza. In ambito industriale la stagionalità si riscontra in intervalli formati da dodici periodi, con alcuni prodotti che possono avere picchi o depressioni nei mesi dell'anno in cui un prodotto ha più o meno mercato. La ciclicità a lungo periodo descrive il ciclo di vita di un determinato prodotto. È una componente che spiega come un prodotto abbia una domanda crescente fino al lungo apice di maturità. Successivamente la domanda inizierà lentamente a diminuire nella fase di declino. Il residuo raccoglie le variazioni di "rumore" che non possono essere spiegate dalle altre componenti. Spiega come molte cause di scarsa incidenza possano influenzare la previsione. È indispensabile per valutare l'attendibilità del metodo utilizzato. In ambito emergenziale le componenti di ciclicità di lungo periodo e di stagionalità possono essere escluse. Il fenomeno da prevedere ha infatti una durata limitata e possiede una tendenza piuttosto regolare. Un'altra componente delle serie storiche, che ugualmente non è presente nel caso di studio di questa tesi, è la sporadicità, la quale indica il numero di intervalli nulli.

La procedura di previsione ha come fase iniziale quella del processamento dei dati. La disponibilità di un data-base o di un'ampia raccolta di dati storici attentamente selezionati può decretare il successo di un modello dello studio del fabbisogno. Le nuove applicazioni dei metodi di analisi usufruiscono sempre più di tecniche informatiche avanzate per avere a disposizione molti dati di alta qualità. Al contrario le informazioni possono essere caratterizzate da incompletezza, rumorosità e incoerenza. In queste situazioni, quando i dati non possono essere rilevati in maniera particolarmente valida, è necessario fare un lavoro di processamento e di integrazione dei dati. Tra le operazioni più importanti troviamo quella di integrazione di dati mancanti, quando non si hanno valori in un determinato periodo o il valore non è stato considerato accettabile. Il valore verrà attribuito con una media tra l'intervallo precedente e successivo. I dati anomali invece vengono scartati e sostituiti con il procedimento precedentemente descritto. Per essere escluso, un dato deve avere un valore che si discosti notevolmente dall'intervallo del 50% dei valori centrali della serie, compresi tra il primo e il terzo quartile della serie storica. Uno strumento molto efficace è la possibilità di aggregare più dati, avendo minore possibilità di trovare un valore che non rispecchi il reale andamento in un determinato periodo. Quando vengono adottati metodi che utilizzano più

serie storiche con grandezze differenti i dati vengono normalizzati. Questa tecnica prevede la scelta di un intervallo al quale dovranno appartenere tutti i valori della serie dopo la trasformazione di normalizzazione.

Il processamento dei dati è una fase fondamentale per un'accurata previsione, ma ha anche lo scopo di stabilire la scelta del metodo previsionale più adeguato. Dalla creazione della serie storica si possono analizzare tutte le componenti di tendenza, ciclicità e irregolarità che porteranno alla selezione della tecnica più precisa. In letteratura esistono diversi metodi, non solo basati sulle serie storiche, con diversi gradi di complessità. Ogni modello risulta tuttavia estremamente efficace quando viene utilizzato nella situazione più consona, anche quelli che si basano su calcoli più semplici. È per questo motivo che diventa indispensabile avere una chiara visuale sullo sviluppo del fenomeno che si vuole prevedere, per evitare l'errore della scelta del metodo. Tra le possibili informazioni che possono essere ricavate dall'analisi di una serie storica c'è la possibile dipendenza con un fenomeno esterno. In questo caso, al posto di utilizzare metodi estrapolativi basati sulle serie storiche, è possibile la scelta di un metodo causale, studiando la dipendenza effettiva tra il fenomeno esterno e l'andamento della serie storica. Le tecniche più utilizzate e valide rimangono comunque quelle di estrapolazione, particolarmente efficaci nel medio e nel breve periodo. Ogni metodo sarà quindi composto da equazioni basate sui dati storici, che forniranno il modello previsionale. Considerando gli strumenti di calcolo a disposizione, è solitamente conveniente utilizzare più metodi adatti alla formulazione di una previsione (4).

2.2.3 Tecniche di previsione

Quando si vuole studiare il fabbisogno in periodi successivi, avendo delle serie storiche regolari, senza stagionalità e con una tendenza stazionaria, i metodi più semplici e validi che possono essere utilizzati sono la media mobile e la media mobile ponderata. La prima tecnica citata prende in considerazione gli ultimi valori della serie storica per fare una media aritmetica come risultato previsionale. Essendo molto semplice non è sempre detto che porti a risultati con errori trascurabili, ma l'efficacia dipende esclusivamente dal numero di intervalli selezionati. La media è mobile poiché per il calcolo successivo prenderà in considerazione sempre lo stesso numero di valori, escludendo il meno recente in favore della rilevazione successiva. Un esiguo numero di intervalli selezionati darà molto più peso a una possibile crescita del modello, a discapito della storia della serie. In alcuni casi, con la giusta scelta di valori da considerare, la media mobile semplice, così come quella ponderata, può essere utilizzata anche per prevedere una tendenza di crescita lineare. La media mobile ponderata ha lo scopo di dare ancora più importanza alle ultime rilevazioni, attribuendo dei pesi decrescenti a partire dall'ultimo periodo prima di fare la media aritmetica.

Una delle tecniche più utili nella ricerca operativa per lo studio previsionale è lo smorzamento esponenziale. La sua importanza dipende sia dalla duttilità applicativa, garantendo buoni risultati in base alla scelta dei parametri, sia dal fatto che molte tecniche avanzate, anche per la previsione di serie irregolari, derivino da questo particolare metodo. La formulazione di questa tecnica è stata fatta da Robert Brown, analista della marina militare statunitense durante la Seconda Guerra Mondiale. Lo scopo di questo metodo era quello di calcolare le

traiettorie di sottomarini nemici, migliorando il sistema di mira. Questa tecnica è ancora alla base dei moderni apparecchi bellici. Dagli anni '50 questo metodo è stato utilizzato per il suo scopo attuale, ovvero per la previsione nella gestione dei magazzini. Fino a tutti gli anni '60 Brown scrisse pubblicazioni in cui migliorava e descriveva le possibili applicazioni del suo metodo. Descrisse come utilizzarlo nella gestione e nel controllo dei magazzini e come applicarlo alle serie temporali, descrivendo alcuni possibili utilizzi per il calcolo delle componenti stagionali. L'interpretazione di questo metodo è di avere una previsione di un determinato intervallo pari all'effettivo valore del periodo precedente, smorzato da un parametro α e sommato all'errore di previsione, sempre del periodo precedente. Questa tecnica dipende sia dall'errore delle precedenti previsioni che dalla corretta calibrazione di α . L'equazione può subire una sostituzione delle variabili, riscrivendola come una sommatoria di tutti i dati della serie, i quali vengono pesati da un esponente in maniera decrescente, man mano che diventano obsoleti. Lo smorzamento esponenziale può quindi essere considerato come un'evoluzione delle tecniche della media mobile semplice e ponderata (5).

Sempre negli anni '50 Holt condusse degli studi per una formulazione di un metodo che si riconduceva allo smorzamento esponenziale. La soluzione trovata si basava su due componenti che dovevano descrivere una tendenza lineare. Lo scopo di questo nuovo metodo era di organizzare e prevedere le scorte per i magazzini lavorando per l'ufficio di ricerca navale, sempre per il governo degli Stati Uniti. La differenza principale con il modello di Brown era l'utilizzo di due parametri, per poter descrivere la componente di livello e di coefficiente angolare per determinare la tendenza della serie. Il metodo più recente e noto è quello di Holt-Winters, il quale riesce a prevedere l'andamento della serie in presenza di stagionalità o irregolarità. Quest'ultimo metodo, considerando la natura del problema trattato in questo documento, non verrà utilizzato poiché il fabbisogno dei DPI ha un andamento lineare e regolare.

Sia il metodo di Holt che lo smorzamento lineare semplice sono strumenti previsionali molto validi in ambito emergenziale, che possono studiare il fabbisogno di beni nei periodi di breve termine dando importanti risultati dal punto di vista del risparmio economico per la gestione dei magazzini.

La regressione lineare è una tecnica che ha il vantaggio di essere utilizzata con efficacia anche nei casi in cui i dati storici siano minori in quantità, a causa di una maggiore difficoltà nella loro rilevazione. Questa tecnica matematica non solo può essere modellata per estrapolazione dalle serie storiche, ma può essere anche applicata per definire una dipendenza di tipo lineare con un fenomeno esterno. La regressione lineare è una tecnica popolare perché molti fenomeni di interesse hanno una relazione lineare e la tecnica è in grado di dimostrare matematicamente e visivamente le relazioni tra variabili importanti. L'equazione lineare è intrinsecamente semplice ed elegante, e di solito esiste una soluzione unica (6).

Utilizzando la stessa tecnica elementare del metodo di Holt, la regressione lineare derivante dalla serie temporale stima due parametri che determinano la retta di regressione che meglio interpola i dati storici più recenti. Il valore dell'intercetta dipende da un valore medio delle ultime variazioni, mentre il coefficiente angolare della retta è dato dalla variazione sempre degli ultimi intervalli.

L'utilizzo di metodi causali, rispetto all'extrapolazione dalle serie storiche, garantisce la possibilità di avere una visione più accurata sulle potenziali variazioni dell'andamento del fenomeno che si vuole prevedere. Questo dipende dal peso dei dati storici nei metodi dipendenti dalle serie temporali (7). Una correlazione lineare tra un fenomeno e il fabbisogno di beni dal quale dipende può garantire risultati di rilevante utilità. La University of Pennsylvania di Medicina per stabilire il numero preciso di dispositivi di protezione individuale necessari per l'azienda ospedaliera locale, ne ha determinato l'effettiva relazione con i casi COVID-19. Questo calcolo, su base statistica e senza utilizzare metodi matematici più precisi, ha comunque stabilito il fabbisogno di DPI in funzione dei casi di positività. La riuscita di questo metodo è dipesa da un preciso utilizzo di dispositivi protettivi per ogni paziente ricoverato, senza il bisogno di applicare un metodo causale più preciso (8). Il risultato è comunque importante in modo da dimostrare la possibilità di stabilire una dipendenza lineare tra questi due fenomeni, anche in altri contesti, come quello che caratterizza la CRI. L'applicazione della regressione lineare può portare infatti a un risultato che stabilisca anche il livello di fabbisogno di DPI non dipendente dalla pandemia.

Essendo ogni previsione soggetta a errori, dovuti dalla natura casuale delle variabili, è importante monitorare costantemente i metodi. Il calcolo degli errori è una fase fondamentale che viene utilizzata già dalla prima calibrazione dei parametri. Calcolare gli errori dovuti dall'applicazione di un metodo con le rilevazioni passate, permette di stabilire i parametri che meglio descrivono l'andamento della serie. questa prima calibrazione viene fatta minimizzando le misurazioni di errore, in funzione dei parametri contenuti dalle tecniche previsionali. Le tipologie dei parametri riscontrati nelle tecniche descritte in questo documento possono riguardare anche il numero di valori più recenti presi in considerazione dal modello. Sia nei metodi della media mobile che nella regressione lineare è necessario stabilire quanti tra i periodi più recenti utilizzare. Le tecniche di calcolo dell'errore maggiormente adottate sono il MAD(Mean Absolute Deviation), che descrive l'errore medio, il MAPE(Mean Absolute Percentage Error), ovvero l'errore medio percentuale, e il MSE(Mean Squared Error), l'errore quadratico medio. Dopo una previsione è importante monitorarne l'accuratezza. Il segnale di tracciamento è uno strumento che permette di stabilire il rapporto tra l'errore cumulato e l'errore medio assoluto. Questo permette di compensare le valutazioni di sovrastima e di sottostima, escludendo un metodo di previsione solo quando l'errore si propaga al di fuori di un determinato intervallo. Le carte di controllo sono invece uno strumento statistico di monitoraggio simile al tracciamento, con la differenza che viene valutato l'errore per ogni intervallo t.

2.2.4 Gestione delle scorte

Un'efficace previsione del fabbisogno di beni è a stretto contatto con la gestione delle scorte a magazzino, in modo tale da fornire la distribuzione adeguata minimizzando i costi. Le informazioni rilevate dall'analisi della domanda diventano gli input per capire le dimensioni dei lotti da ordinare. Le politiche di gestione delle scorte stabiliscono le modalità di approvvigionamento, rispettando le quantità richieste nei periodi successivi, minimizzando i

costi di immagazzinamento delle scorte e di riordino. In ambito industriale la rilevazione dei beni da ordinare dipende dal piano MRP (Material Requirement Planning) il quale a sua volta dipende dai vari piani di produzione che hanno come informazione iniziale l'analisi della domanda dei beni da produrre. A supporto della gestione dei magazzini vengono utilizzati i modelli deterministici. La varietà di questi modelli dipende da come possa cambiare la domanda nei periodi successivi. Il caso più frequente è quello di una domanda costante. In questo modo viene calcolata la quantità di beni più economica da riordinare, con il metodo EOQ (Economic Order Quantity), in modo tale da non avere un intervallo fisso di tempo per fare l'ordine. Questo metodo fornisce una quota di scorte di sicurezza e necessita di un monitoraggio costante del magazzino, in modo da rilevare tempestivamente la data di riordino. Nel caso di una domanda variabile un metodo particolarmente efficace è quello di Wagner-Whitin. Questo modello è rappresentato da una funzione obiettivo da minimizzare, nella quale sono espresse le voci dei costi della gestione a magazzino di ogni bene per periodo e i costi fissi per effettuare un ordine di qualsiasi dimensione. Le variabili da trovare, in funzione della domanda per ogni periodo, sono le quantità da ordinare e in quali periodi effettuare l'ordine. Il caso studiato in questo documento necessita di questa tipologia di politica della gestione delle scorte, in quanto la domanda dei DPI è variabile. Come sappiamo, rispetto all'efficienza economica, la logistica di emergenza presta maggiore attenzione all'efficienza del tempo, quindi non possiamo utilizzare la formula EOQ per identificare il ciclo degli ordini. Le variazioni improvvise causeranno i cambiamenti nella quantità ottima di riordino. Il metodo di Wagner-Whitin ha comunque lo scopo di minimizzare i costi totali. Rispetto al metodo EOQ ha tuttavia la possibilità di effettuare gli ordini in intervalli standard, poiché la domanda è variabile come in un contesto emergenziale, e l'ottimizzazione dipende dalla scelta dei periodi in cui effettuare gli ordini (9). L'intervallo temporale tra i vari periodi può essere scelto in base alle esigenze, calcolando la domanda in periodi anche molto brevi. Questa caratteristica fornisce al modello la possibilità di essere applicato anche in situazioni in cui la tempestività è fondamentale.

CAPITOLO 3

3.1 Introduzione

In questo capitolo verrà presentato il lavoro svolto per la raccolta e il processamento dei dati, sul caso di studio reale della CRI Marche, in modo da ottenere la serie storica che sarà alla base dei metodi previsionali. Questa tesi descrive un lavoro svolto nell'ambito della Logistica Emergenziale, la quale ha tra le sue caratteristiche principali la difficoltà nella raccolta di dati storici significativamente utili. Per questo motivo è stato necessario adottare attuare una stima della serie storica, utilizzando le informazioni a disposizione fornite dalla CRI.

In contesti emergenziali è particolarmente difficile avere dei dati accurati di utilizzo di un bene. Una delle motivazioni principali è la rapidità con la quale un prodotto modifica la sua natura. Le informazioni di utilizzo meno recenti possono diventare obsolete, descrivendo infatti una situazione diversa da quella attuale. Un altro aspetto, che può portare alla mancanza di dati utilizzabili, dipende dall'abitudine di immagazzinare informazioni rilevanti. Per molte tipologie di prodotto non è una norma quella di utilizzare tecniche previsionali avanzate. Questo può portare ad avere lo stesso approccio anche all'avvento di una situazione emergenziale. Il processo di gestione dei dati è anche caratterizzato da molte difficoltà. Le informazioni vanno valutate e selezionate in maniera precisa per poter essere utilizzate nei periodi successivi. In questo ambito la presenza di un preciso storico del fabbisogno è rara, portando all'obbligo di utilizzare delle tecniche alternative per la selezione dei dati.

Alla luce di quanto detto, obiettivo di questo capitolo è confrontare i dati degli ordini passati dei DPI da parte della CRI Marche con il numero delle ospedalizzazioni, considerando anche il numero di servizi svolti dagli operatori a livello regionale. Questo servirà a stabilire l'utilizzo per ogni periodo dei dispositivi, permettendo la presenza di valori adatti alla composizione della serie storica. Le altre operazioni che verranno descritte avranno lo scopo di validare questi dati. In particolare, si descriveranno i criteri per l'esclusione di dati anomali, tenendo conto del comportamento regolare della domanda dei DPI. Ogni possibile sostituzione di dati mancanti o esclusi verrà eseguita con una stima. Le altre operazioni descritte in questo capitolo prevedono l'aggregazione e la normalizzazione dei dati. Dopo aver eseguito queste operazioni verrà garantito come risultato lo storico di utilizzo dei DPI per ogni periodo, che sarà alla base per la previsione del fabbisogno.

3.2 Serie storica

In assenza dei dati storici accurati, è comunque possibile stabilire una serie temporale, andando ad analizzare tutti i fattori che possono descrivere fedelmente l'andamento passato. Per fare questo è necessario avere chiaro il rapporto tra un altro evento, possibilmente ben dettagliato, e il consumo dei beni che si intende studiare. Dalle informazioni provenienti dalla CRI Marche è risultato che i protocolli impongano per gli operatori l'utilizzo di nuovi DPI dopo ogni servizio svolto. Il numero di persone necessarie in un'ambulanza per un'operazione di emergenza è di tre operatori, mentre ne vengono impiegati solo due nelle normali operazioni di trasporto sanitario. La particolarità dei guanti monouso, rispetto agli altri DPI, è quella di

dover essere cambiati dopo un contatto con un paziente, aumentandone l'utilizzo a quattro per ogni servizio svolto da un operatore. Queste informazioni, ben descritte dai protocolli, sono necessarie per capire quanti DPI vengano effettivamente utilizzati durante un servizio di trasporto in ambulanza, emergenziale o ordinario. Questa conoscenza permette quindi di calcolare i DPI in funzione delle situazioni che richiedano l'impiego di ambulanze per trasporti emergenziali, come il ricovero in ospedale causato dal COVID-19. Per ogni ingresso o uscita dall'ospedale è necessario il trasporto a cura della CRI Marche.

Il Governo italiano mette a disposizione dei dati, aggiornati quotidianamente, sul numero di persone positive, ospedalizzate, guarite e decedute in ogni Regione. Queste informazioni sono costanti, con intervalli giornalieri, e sicuramente valide, poiché provengono da fonti governative ufficiali. La tecnica che è stata utilizzata prevede l'utilizzo dello storico delle ospedalizzazioni regionali, con periodi giornalieri, moltiplicato per un coefficiente che descriva correttamente il numero di DPI che vengono utilizzati per ogni ospedalizzazione. Per fare questo è stato necessario utilizzare altri dati, provenienti dalla CRI Marche, riguardanti il numero preciso di servizi erogati nel periodo da febbraio 2020 a maggio 2021. Questi servizi sono stati divisi per ogni tipologia, analizzando come il trasporto emergenziale sia stato una parte fondamentale, così come le altre operazioni di soccorso standard. Le altre attività fornite dalla CRI Marche hanno evidenziato dei numeri minori, derivanti da operazioni di consegna dei farmaci e viveri o altre operazioni logistiche in cui non è necessario l'utilizzo dei DPI. Essendo il trasporto dei pazienti COVID-19 un'operazione emergenziale, è stato possibile trovare una dipendenza con il numero delle variazioni delle ospedalizzazioni, poiché per ogni paziente, ricoverato o dimesso, è necessario il trasporto in ambulanza. In questo modo è stato trovato il rapporto tra tutti i servizi emergenziali erogati dalla CRI e le ospedalizzazioni effettive nelle Marche da inizio pandemia. Il risultato è un rapporto che indica quante operazioni di questo tipo vengono svolte per ogni ospedalizzazione. Essendo a conoscenza anche del numero di DPI utilizzati per ogni servizio di questo tipo, considerando i vincoli imposti dai protocolli, è possibile stabilire una parte dell'utilizzo giornaliero di DPI in funzione del numero delle ospedalizzazioni.

Un altro dato fondamentale per questa parte è stato il numero totale di DPI che sono stati ordinati dalla CRI in questi due anni. Le informazioni sugli acquisti, svolti a intervalli, irregolari, non sono abbastanza numerose e frequenti per poter delineare una serie temporale. Questi numeri possono essere tuttavia utilizzati in modo da determinare il totale di dispositivi di protezione utilizzato in questo periodo e per fare un adeguato rapporto di utilizzo per ogni tipologia di dispositivo. I protocolli della CRI impongono infatti un utilizzo di quattro guanti e una mascherina FFP2 per ogni servizio svolto, poiché vanno cambiati con una frequenza maggiore in base alla loro possibile inefficacia dopo un contatto con un positivo. Per altri DPI con un consumo non standard, come il gel igienizzante o le mascherine chirurgiche, è stato necessario fare un confronto tra i vari ordini, per determinare quanto fossero utilizzati rispetto alle mascherine FFP2 o ai guanti monouso. Le mascherine chirurgiche ad esempio sono meno efficaci, tra i DPI di protezione delle vie respiratorie, venendo quindi utilizzate sedici volte in più delle FFP2, con un ricambio costante. Al contrario i camici monouso possono essere cambiati anche ogni giorno, garantendo l'utilizzo dello stesso camice per tutti i servizi di una giornata. Anche gli occhiali protettivi sono riutilizzabili più volte, poiché sanificabili, mentre la quantità di gel utilizzata per servizio è minima. Facendo un rapporto con i valori degli ordini

per ogni tipologia di DPI, conoscendo i valori standard di utilizzo di solo due tipologie per servizio, si può determinare l'utilizzo effettivo di ogni dispositivo di protezione per ogni operatore coinvolto in un trasporto. Considerando che anche il numero di operatori per ogni tipologia di servizio è standard, si può quindi calcolare il numero di DPI utilizzati ogni giorno, per ogni categoria. I dati di servizi e ordini del 2020 e 2021, forniti dalla CRI, sono descritti nelle Tabelle 1 e 2. La distribuzione dei trasporti sanitari normali, essenziale per il calcolo di tutti i servizi, è stata calcolata considerando una sola parte di dipendenza dalle ospedalizzazioni.

I servizi normali non hanno effettivamente un rapporto diretto con i trasporti di persone contagiate, ma hanno avuto comunque un andamento riconducibile alla tendenza dei ricoveri in ospedale. Dopo aver effettuato il calcolo di ogni servizio effettuato al giorno, è possibile stabilire quindi il numero di operatori impiegati, sommando quelli di emergenza e quelli dei trasporti sanitari normali. Moltiplicando il numero totale di operatori al giorno per i coefficienti di utilizzo di ogni DPI, precedentemente calcolato, è possibile stabilire il loro consumo giornaliero. Questa tecnica può avere un errore dovuto a variazioni anomale delle quali non si è a conoscenza, poiché è solo una stima, anche se accurata. Il calcolo dei DPI tiene conto della quantità effettiva utilizzata negli ultimi mesi, poiché sommando le quantità giornaliere si ottiene il valore degli ordini totali nel 2020 e 2021 per ogni tipologia. I dati trovati saranno quindi coerenti con l'utilizzo effettivo, dando comunque la possibilità di delineare una serie storica che sia fedele al consumo giornaliero dei DPI.

Utilizzando le informazioni demografiche fornite dall'Istat è stato possibile stabilire le quantità di utilizzo, sempre per periodi giornalieri, di ogni comitato della CRI nelle Marche. Analizzando il territorio di intervento, la divisione dei DPI ha tenuto in considerazione il numero di abitanti nella zona in cui ciascuno dei trentatré comitati operava. Ci sono delle differenze evidenti utilizzando questo metodo, le quali rispecchiano l'effettivo andamento dell'emergenza pandemica nello scorso anno. Il consumo di DPI ha riguardato maggiormente le città più popolose come Pesaro o Ancona, rispetto ad altri comuni come Visso. Questa divisione è stata fatta considerando anche un grado di casualità dal 10%, poiché il numero di abitanti di un territorio colpito non è stato l'unico parametro in gioco.

Nonostante la quantità di popolazione incida sul numero di ospedalizzazioni e sull'utilizzo di DPI, ci sono stati alcuni casi in cui alcuni comuni hanno avuto un valore medio più alto di ospedalizzazioni per numero di abitanti. Questo successivo calcolo ha dato la possibilità di sviluppare uno storico settimanale di utilizzo di DPI, sommando per ogni comitato il consumo giornaliero dal lunedì alla domenica. In questo modo è stata scelta una variazione temporale a intervalli più ampi, in modo tale da escludere possibili errori derivanti da un singolo giorno della settimana. Questa scelta necessaria garantisce comunque la possibilità di lavorare con una serie storica di intervalli molto brevi, la quale descrive in maniera precisa ogni variazione di tendenza limitandone gli errori.

Mese di consegna	FFP2	CAMICI	MASCHERINE CHIRURGICHE	GUANTI 100 pz.	GEL MANI	OCCHIALI PROTETTIVI
Maggio 2020	9560	100	30720	152		1900
Giugno 2020	4500				291	450
Dicembre 2020	222	770			189	
Febbraio 2021	3000	898	10000	2000	811	240
Marzo 2021	13550		200000			
Aprile 2021	19500	12500	700000			930
TOTALE	50332	14268	940720	2152	1291	3520

Tabella 1: Storico degli ordini dei DPI della CRI Marche da maggio 2020 ad aprile 2021.

Servizi svolti nel 2020	Emergenza-urgenza	Trasporti sanitari	Operatori impiegati
93800	15800	78000	61624
Servizi svolti nel 2021	Emergenza-urgenza	Trasporti sanitari	Operatori impiegati
72500	12500	60000	42464

Tabella 2: Numero dei servizi svolti dalla CRI Marche da febbraio 2020.

3.3 Processamento dei dati

Il lavoro effettuato per poter delineare la serie storica utilizzando i dati messi a disposizione dalla CRI è stato fondamentale. La qualità dei valori all'interno della serie storica richiede comunque un lavoro di processamento e di normalizzazione dei dati. Nonostante l'intervallo settimanale possa mettere a disposizione un minimo livello di errori è comunque necessario determinare un intervallo entro il quale i valori della serie possano essere considerati accettabili. I valori esterni a questo intervallo saranno eliminati e sostituiti.

Questo lavoro è necessario, poiché degli eventi di durata settimanale e non replicabili in futuro, possono aver alterato i valori di uno o più intervalli, rendendoli dannosi per il calcolo previsionale dei periodi successivi. Il primo passo effettuato è stato analizzare l'andamento settimanale dell'utilizzo dei DPI, dal 24 febbraio 2020 al 2 maggio 2021.

In queste sessantadue settimane la tendenza è irregolare e dipende dall'andamento della pandemia, la quale ha avuto un periodo di minimo molto lungo nei mesi estivi. Essendo quindi un periodo piuttosto lungo non si può definire come irregolare. L'andamento dell'utilizzo dei DPI segue comunque una certa regolarità, nonostante sia stato descritto da più fasi con valori differenti.

Per il calcolo dei DPI è quindi sbagliato l'utilizzo di tutti i valori della serie storica. È necessario stabilire in quale intervallo i dati inizino a diventare obsoleti. Analizzando la serie storica è stato possibile capire come nelle ultime ventisei settimane l'andamento sia molto più regolare

rispetto alle trentasei settimane meno recenti. L'adeguata selezione del numero di periodi più recenti da prendere in considerazione garantisce la possibilità di ottenere buoni risultati previsionali. Prendendo in considerazione tutti i sessantadue periodi, è stato possibile calcolare come circa il 10% dei valori siano stati considerati fuori dall'intervallo. Questo accade perché le fasi dello sviluppo delle ospedalizzazioni sono state molte e anche differenti tra di loro. Determinando un intervallo di validità dei dati è possibile avere molti valori che non lo rispettano. Anche per questo motivo può essere utile scegliere solo i valori più recenti con un andamento regolare, in modo tale da avere molte più informazioni accettabili. Selezionando quindi solo gli ultimi ventisei periodi, il numero dei valori non accettabili scende al 2%.

Il metodo più utilizzato per stabilire un intervallo di validità è di trovare una soglia basata sul primo e il terzo quartile. Il primo quartile, o venticinquesimo percentile, è il valore dell'intervallo selezionato che indica il 25% della distribuzione delle grandezze. Il secondo quartile ovviamente è la mediana, mentre il terzo quartile, o settantacinquesimo percentile, corrisponde alla grandezza che indica i tre quarti dei valori in ordine di grandezza. Calcolando il 150% dell'intervallo tra il primo e il terzo quartile, sono esclusi i valori che si allontanano, inferiormente dal primo quartile e superiormente dal terzo, di questa grandezza. Questo metodo tiene conto dell'andamento complessivo della serie storica e riesce a garantire un intervallo di validità molto ampio. I valori che vengono esclusi hanno delle grandezze anormali che possono quindi dipendere da altri fattori non valutabili. È quindi doveroso escluderli e sostituirli con valori che possano rispecchiare maggiormente l'andamento del fenomeno che si vuole prevedere. L'intervallo di validità è stato calcolato per i ventisei periodi più recenti, quelli scelti per la previsione, di ogni DPI per ogni singolo comitato. Considerare un solo intervallo per ogni dispositivo a livello regionale non avrebbe dato dei risultati accurati, poiché la successiva divisione per ogni comitato tiene conto anche di una componente casuale. Il lavoro di validazione dei dati è stato condotto su tutte le 198 serie storiche che descrivono l'utilizzo dei DPI di ogni comitato.

Per ciascuna di esse sono state infatti prese in considerazione le sei tipologie di dispositivi di protezione in dotazione agli operatori della CRI, ovvero le mascherine chirurgiche, le mascherine FFP2, i guanti monouso, i camici, gli occhiali protettivi e il gel igienizzante.

Dopo l'esclusione dei valori non considerati validi, è stato fatto un calcolo per stabilire la grandezza da considerare in sostituzione di quella eliminata. Per ogni valore mancante è stata eseguita una media aritmetica tra il valore precedente e quello successivo. Lo stesso lavoro è stato fatto nei pochi casi in cui le grandezze eliminate erano di due intervalli adiacenti.

In questo caso le grandezze sostituite hanno seguito comunque un andamento lineare tra la grandezza precedente e la prima successiva valida. Questo lavoro permette di avere dei calcoli più precisi con l'utilizzo dei metodi previsionali, poiché le grandezze che compongono la serie storica hanno un andamento regolare. I risultati della validazione dei dati sono riportati nella Tabella 3, utilizzando il comitato di Ancona come esempio per questo lavoro. Tutti gli altri comitati hanno avuto un andamento simile a quello di Ancona.

DPI ANCONA													
DATA	GUANTI	FFP2	CHIRURGICHE	CAMICI	GEL	OCCHIALI	DATA	GUANTI	FFP2	CHIRURGICHE	CAMICI	GEL	OCCHIALI
19/10/2020	3987	1068	14647	283	26	74	25/01/2021	2085	613	9626	161	14	39
26/10/2020	5184	1762	29103	506	45	92	01/02/2021	3829	1004	15917	292	21	70
02/11/2020	6382	1595	22927	438	34	111	08/02/2021	3566	841	13189	262	22	59
09/11/2020	6278	1488	24079	480	43	109	15/02/2021	3197	782	13879	255	19	61
16/11/2020	6401	1321	21378	435	39	97	22/02/2021	2417	591	10274	179	15	46
23/11/2020	3439	826	12555	260	22	59	01/03/2021	3858	946	15002	262	21	56
30/11/2020	4913	1453	21980	380	35	88	08/03/2021	3803	922	14765	254	21	62
07/12/2020	3643	984	16045	289	23	63	15/03/2021	2078	503	9103	147	14	35
14/12/2020	5444	1258	19105	392	34	80	22/03/2021	3522	908	16340	289	25	66
21/12/2020	6473	1556	22907	466	42	103	29/03/2021	3332	935	13738	262	20	57
28/12/2020	3089	834	12727	238	17	55	05/04/2021	3537	964	15722	241	21	63
04/01/2021	3215	789	10856	225	19	47	12/04/2021	4624	1207	19526	412	34	93
11/01/2021	2284	559	10499	167	15	41	19/04/2021	4230	1046	18742	354	26	73
18/01/2021	2460	684	11162	175	16	43	26/04/2021	4569	1201	17137	388	32	89

Tabella 3: Serie storica dei DPI di Ancona.

L'operazione di normalizzazione consiste nello scegliere un intervallo della serie per poter modificare i valori di altre serie storiche che hanno lo stesso andamento di quella originale. Questa fase è fondamentale nel caso di disponibilità di più serie che descrivano lo stesso andamento. Molto spesso i dati di ciascuna serie temporale hanno grandezze differenti. Per poter valutare l'appartenenza di un valore all'interno di un intervallo di validità, vengono normalizzati i dati di ciascuna serie utilizzandone una come riferimento. In questo caso sarà possibile discutere le tendenze di ciascun fenomeno, anche se caratterizzati da grandezze differenti. Per ogni comitato è stato fatto un lavoro di normalizzazione dei dati, scegliendo la serie storica dell'utilizzo dei guanti monouso come valore di riferimento. Questa parte di lavoro è servita come controllo della correttezza dei valori dopo il processamento effettuato nella fase precedente. I valori dei risultati hanno evidenziato come ogni DPI avesse lo stesso andamento. Alla fine del processo di normalizzazione è stato possibile definire correttamente le serie storiche definitive che descrivono l'utilizzo dei DPI in ciascun comitato, procedendo quindi con la fase di previsione.

CAPITOLO 4

4.1 Introduzione

In questo capitolo verranno presentati in dettaglio i metodi di previsione che sono stati adottati per lo studio del fabbisogno dei DPI. Questi metodi sono stati selezionati in modo da dare dei risultati accurati in base alla serie storica che è stata stimata precedentemente. Dopo la fase di processamento dei dati è stato possibile procedere con la parte di analisi delle previsioni, a partire dalla calibrazione dei parametri che compongono ogni metodo, sfruttando le serie stesse per calcolare e minimizzare gli errori.

In questo capitolo verranno descritti i metodi di previsione e di calcolo degli errori. Verranno quindi descritti i risultati della calibrazione mettendoli a confronto tra tutti i metodi previsionali. Per ogni metodo preso in considerazione verrà fatta una descrizione dettagliata. Verranno descritti i metodi dal punto di vista delle loro possibili applicazioni e condizioni di utilizzo, specificando la divisione tra i metodi con tendenza lineare e i metodi di tendenza stazionaria. In questo capitolo verranno infatti presi in considerazione due tipologie differenti di metodi previsionali delle serie storiche. La previsione stazionaria dei metodi di media mobile, media mobile ponderata e smorzamento esponenziale può tuttavia essere calibrata in modo da descrivere delle previsioni con andamento lineare nei periodi futuri. Lo scopo di questo lavoro è di confrontare e di arrivare a buoni risultati con queste tipologie di metodi, oltre a quelli con tendenza lineare, come il metodo di Holt e la regressione lineare. Si provvederà ad una descrizione anche dell'implementazione dei metodi usati, partendo da una serie storica di prova, ovvero i guanti per il comitato di Ancona, in modo da avere dei riscontri iniziali sul calcolo degli errori per ogni metodo. La scelta della serie di prova è stata fatta considerando il comitato con la popolazione maggiore, dove ha sede anche il comitato regionale, e i guanti, uno dei DPI più utilizzati e con maggiori difficoltà di reperimento nell'ultimo anno.

I parametri presenti in questi metodi sono di due tipologie diverse. Nei metodi di Holt e di smorzamento esponenziale sono presenti uno o più parametri numerici che possono variare tra zero e uno, con lo scopo di dare più o meno importanza a delle componenti presenti nel modello in fase di calcolo. Gli altri metodi hanno dei parametri che indicano il numero di periodi precedenti necessario per effettuare la previsione. Individuarne il numero preciso per poter effettuare la previsione più accurata è fondamentale. Gli indici di errore presi in considerazione per questo lavoro sono stati il MAD, errore medio assoluto, il MAPE, errore medio percentuale e il MSE, errore medio quadrato. Questi indici prevedono di calcolare gli errori assoluti, percentuali e quadrati, tra la previsione e l'effettivo valore in un intervallo, per poi eseguire la media e fornire il grado di imprecisione di un metodo. Per la calibrazione è stato imposto di minimizzare gli errori descritti da questi indici. Per la previsione è stato utilizzato anche un metodo di finestre temporali, utilizzando per ogni periodo un preciso numero di dati precedenti, in modo da stabilire se i metodi fossero più precisi con un intervallo limitato di valori. Queste finestre mobili sono state provate per ogni metodo, con quattro e con dieci periodi precedenti. Nel corso del capitolo verrà anche presentato un confronto con il metodo causale della regressione lineare. Il calcolo di previsione verrà effettuato utilizzando

l'andamento dei contagi come variabile indipendente. Anche in questo caso verranno descritte le componenti matematiche del metodo. Saranno quindi confrontati i risultati con quelli degli altri metodi di previsione, in modo da stabilirne la precisione e l'effettiva dipendenza del fabbisogno di DPI dal numero di contagi da COVID-19.

4.2 Medie mobili

Le medie mobili sono dei metodi dal vasto utilizzo in ambito industriale, ma anche per altre situazioni di studio di una serie storica. La loro efficacia dipende dalla buona precisione di previsione, in contesti di regolarità, applicando un modello matematico particolarmente semplice. Dalla media mobile possono essere sviluppati metodi previsionali dall'efficacia maggiore, come ad esempio la media mobile ponderata, che varrà presa in considerazione in questo lavoro, o la doppia media mobile. Anche lo smorzamento esponenziale, sebbene sia derivato da una formulazione matematica differente, può essere ricondotto a una media mobile ponderata con coefficienti di crescita esponenziali. La logica dietro ai metodi di media mobile è quella di stabilire una previsione mediante la media di un determinato numero di valori precedenti. Il risultato sarà dunque un valore con una tendenza stazionaria che non verrà influenzato dall'andamento della serie negli ultimi periodi. Ogni valore ha lo stesso grado di importanza e un'ipotetica irregolarità o una rapida crescita verrà bilanciata fortemente dai valori meno recenti. questo metodo può essere utilizzato con l'utilizzo di un numero esiguo di intervalli precedenti, in modo tale da descrivere più facilmente eventuali tendenze di crescita o decrescita. Le medie mobili sono inefficaci per le serie irregolari o con stagionalità.

$$P_{T+1} = \frac{\sum_{t=1}^T ty_t}{\sum_{t=1}^T t}$$

La media mobile ponderata, al contrario della precedente, riesce a dare una maggiore importanza allo sviluppo della serie degli ultimi periodi. Questo metodo utilizza dei coefficienti, decrescenti andando verso quelli meno recenti, che moltiplicano i valori presi in considerazione per il calcolo previsionale. Anche in questo caso il valore risultante non potrà essere al di fuori dell'intervallo dei valori utilizzati, ma in caso di tendenza di crescita o decrescita, il risultato sarà orientato verso la tendenza dei valori più recenti.

$$P_{T+1} = \sum_{k=0}^{r-1} \frac{y_{T-k}}{r}$$

Per entrambi i metodi è importante scegliere adeguatamente il numero dei periodi precedenti presi in considerazione. Un numero elevato di intervalli non garantirà un rapido adeguamento della previsione a eventuali cambi di tendenza. Al contrario un numero ristretto di periodi può subire la presenza di un dato anomalo, che potrà alterare la previsione. In questo caso è necessario sfruttare le tecniche di stima dell'errore, minimizzandoli in funzione del numero di intervalli presi in considerazione. Per questi metodi l'errore è stato calcolato con il MAPE,

ovvero l'errore percentuale medio, facendo dei tentativi per ogni numero di periodi selezionati. Il numero dei periodi selezionati aumentava o diminuiva in base alla variazione dell'errore, fino a stabilire un intervallo di ottimalità. Per questi due metodi sono stati fatti dei calcoli di calibrazione in maniera separata, ma è stato stabilito il numero ottimo di cinque intervalli per entrambe le tecniche, nonostante le differenze tra i due metodi. In Figura 4 e 5 sono mostrati gli andamenti della previsione dei guanti monouso per il comitato di Ancona, rispettivamente ottenuta con la media mobile e la media mobile ponderata.

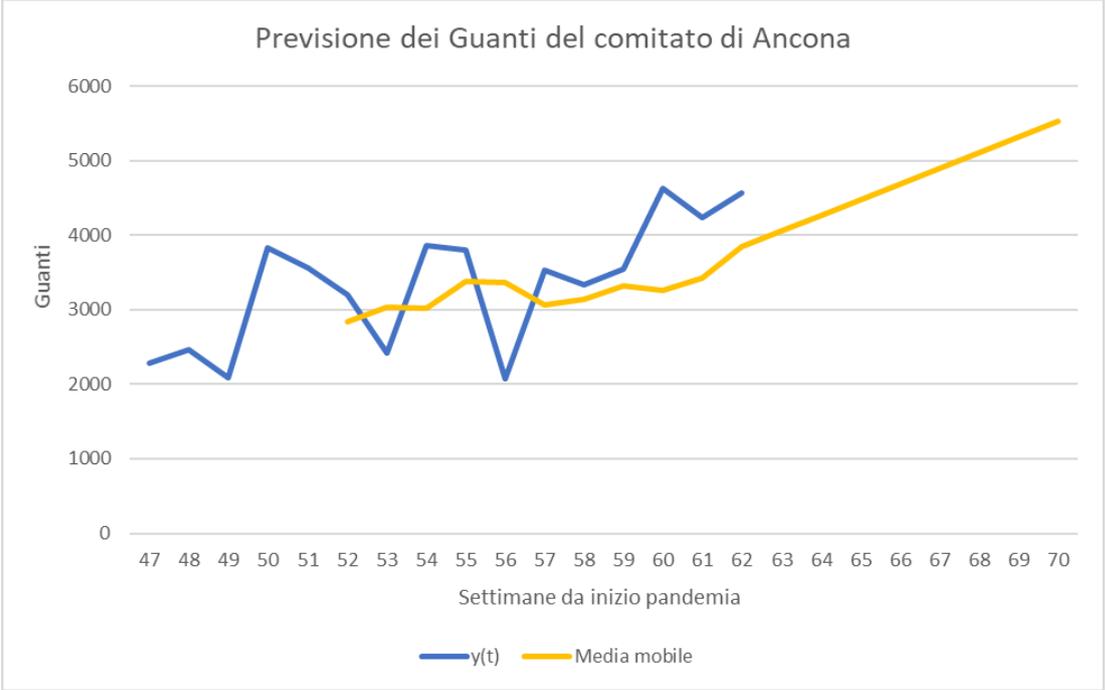


Figura 4: Grafico della previsione della media mobile.

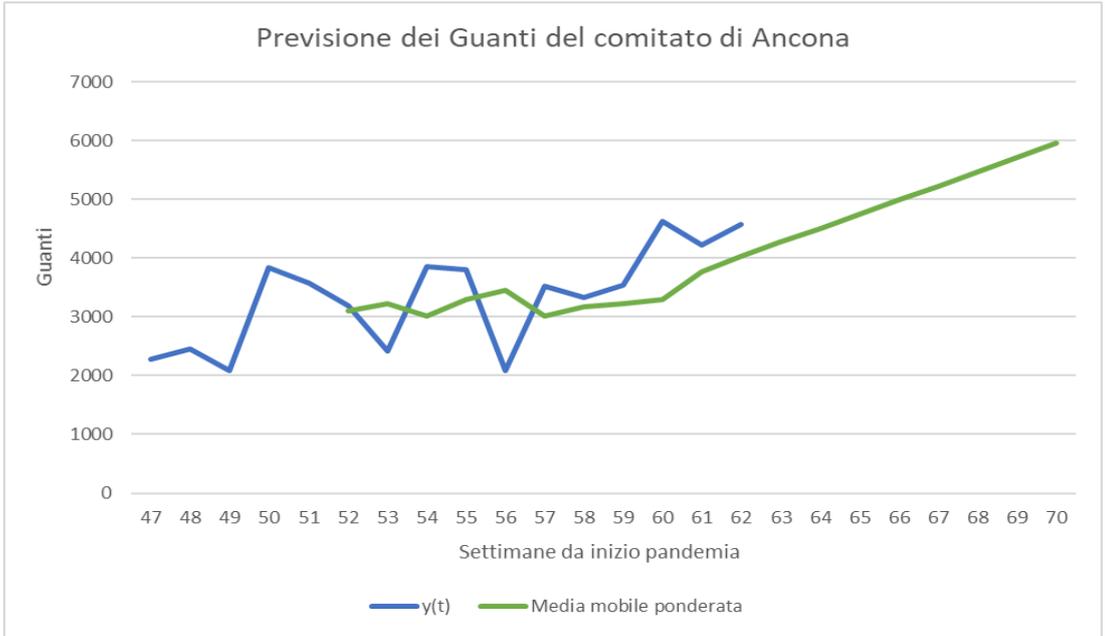


Figura 5: Grafico della previsione della media mobile ponderata.

Utilizzando principalmente il MAPE come indice di errore, è stato possibile stabilire un'impresione del 20% per la previsione effettuata con entrambi i metodi nella serie storica dei guanti per il Comitato di Ancona. Questo risultato può essere considerato buono poiché l'accettabilità di una previsione impone un errore percentuale inferiore del 30%, con un'accuratezza maggiore che viene rappresentata proprio dai valori inferiori alla soglia del 20%.

4.3 Smorzamento esponenziale

Lo smorzamento esponenziale è sempre una tecnica di previsione di tendenza stazionaria, ma la sua formulazione matematica prevede la presenza di un parametro che sia in grado di dare peso sia ai valori passati che alle previsioni, e quindi all'errore, dei periodi precedenti. In questo modo è possibile utilizzare questa tecnica anche in modo da prevedere una tendenza lineare, impostando in maniera appropriata il parametro presente nel modello. Il valore del periodo precedente alla previsione viene infatti moltiplicato per questo parametro che può variare tra zero e uno, e viene sommato alla previsione, sempre del periodo precedente, moltiplicata per uno meno lo stesso parametro. Lo smorzamento esponenziale viene applicato in situazioni di previsione in logistica dalla metà del secolo scorso e, oltre ad essere particolarmente preciso e facile da applicare, ha una formulazione matematica alla base di altri metodi di previsione più sofisticati, che possono essere utilizzati in situazioni di tendenza lineare come il metodo di Holt, o anche per altri metodi con serie storiche irregolari. Lo smorzamento esponenziale è così chiamato per la possibilità di ricondurre la formulazione matematica, tramite delle sostituzioni, a una sommatoria di tutti i precedenti periodi, che verranno moltiplicati a un coefficiente che avrà un esponente decrescente, con l'utilizzo di valori meno recenti. Per questo motivo può essere ricondotto ai metodi di media mobile, con la particolarità di avere un parametro che cresce in maniera esponenziale, dando quindi un peso particolarmente importante ai periodi più recenti. Di seguito, vengono riportate le formule matematiche usate nel metodo dello smorzamento esponenziale, anche nella versione con i parametri crescenti in maniera esponenziale.

$$P_{T+1} = \alpha y_T + (1-\alpha)P_T \qquad P_{T+1} = \alpha \sum_{k=0}^{T-2} (1-\alpha)^k y_{T-k} + (1-\alpha)^{T-1} y_1$$

Lo smorzamento esponenziale è stato utilizzato nel lavoro di previsione della domanda dei DPI con l'utilizzo dei metodi di calcolo dell'errore come indice di correttezza, come fatto per le medie mobili. In questo caso, al contrario delle precedenti tecniche, è stato utilizzato un metodo per stabilire il valore ottimo del parametro da utilizzare, senza fare delle prove per decretare l'intervallo migliore. In particolare è stato preso il MAPE, Mean Average Percentual Error, come funzione obiettivo da minimizzare, in funzione delle previsioni, e quindi del parametro α che compone la previsione di ogni periodo. Per effettuare la calibrazione in

maniera accurata è stato utilizzato il risolutore di Excel, nel quale è stato implementato il modello con lo storico del fabbisogno dei DPI.

Anche in questo caso è stato possibile stabilire un errore percentuale medio, indicato dal MAPE, di un valore intorno al 21%. In questo modo la previsione può essere considerata corretta, ma è stato fatto un altro lavoro, con la previsione in finestre mobili, per provare ad ottenere dei risultati migliori. In questo modo la previsione arriva a una precisione maggiore, considerando anche la possibilità di prevedere, per ogni periodo, il fabbisogno anche a due settimane di distanza, come riportato dalla Figura 6. Questo lavoro è stato necessario considerando come la serie storica di riferimento sia stata stimata, quindi con la presenza di possibili errori al suo interno, che avrebbero potuto invalidare il risultato. Nei metodi come lo smorzamento esponenziale e di Holt, che prendono in considerazione tutti i valori della serie storica, è possibile determinare per ogni periodo solo un determinato numero di valori precedenti da utilizzare per il calcolo previsionale. Sono stati presi in considerazione delle finestre mobili di quattro e dieci periodi precedenti, riscontrando dei valori di errori inferiori utilizzando solo dieci periodi precedenti per ogni intervallo. In questo modo sono state minimizzate le interferenze di possibili intervalli anomali, che nonostante l'operazione di processamento dei dati erano presenti all'interno della serie storica.

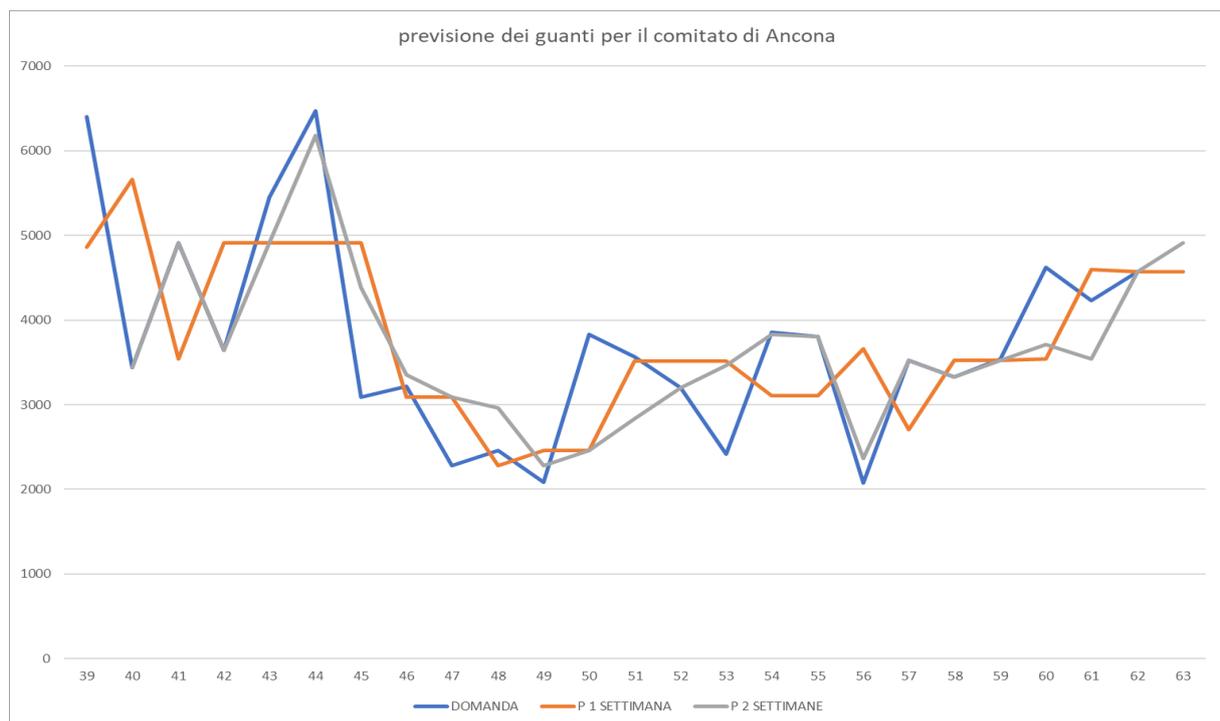


Figura 6: Grafico della previsione con lo smorzamento esponenziale.

4.4 Metodi di previsione con tendenza lineare

I metodi di tendenza lineare sono stati scelti per questo lavoro di previsione poiché consentono una notevole precisione con serie storiche dello stesso andamento di quella dei DPI utilizzati dalla CRI. Nonostante la loro maggiore complessità della formulazione matematica, è stato possibile descrivere in maniera più precisa la crescita lineare dell'utilizzo dei dispositivi di protezione. La maggiore differenza con i precedenti metodi è nella formulazione della tecnica elementare. Questi metodi sono composti da due coefficienti, in funzione di appositi parametri e dei valori della serie storica. I coefficienti in questione serviranno a stabilire una retta, che descriverà la previsione dei DPI anche nei periodi successivi. In questo modo, per ogni intervallo successivo, può essere sommato sempre lo stesso valore di coefficiente angolare, per prevedere in ogni periodo successivo il fabbisogno di DPI. Questa stessa tecnica elementare è stata utilizzata anche per i precedenti metodi, linearizzando la previsione per i periodi successivi, in modo tale da descrivere un andamento simile anche per i metodi di tendenza stazionaria. I metodi di tendenza lineare selezionati per questa tesi sono il metodo di Holt e la regressione lineare.

4.4.1 Metodo di Holt

Il metodo di Holt si basa sulla stessa formulazione dello smorzamento esponenziale, il quale non riesce però a cogliere delle variazioni rapide della tendenza, descrivendo un andamento stazionario. In questo metodo sono presenti infatti due relazioni, uno dei quali è il coefficiente angolare della retta che descrive la previsione. Queste relazioni applicano direttamente dei correttivi che tengono in considerazione i precedenti valori e previsioni. In ogni coefficiente è presente un parametro. La previsione $P(t)$ verrà descritta dalla somma di a_T e di b_T . La relazione che descrive a_T è la somma tra il valore del periodo precedente, moltiplicata per il parametro α , con la somma dei coefficienti, quindi la previsione, del periodo precedente, moltiplicato per uno meno α . Il primo coefficiente del metodo di Holt è quindi uguale alla previsione del metodo di smorzamento esponenziale, poiché questa tecnica è stata alla base per poter sviluppare quella di Holt. Il secondo coefficiente, b_T , funge da correttivo per poter valutare la variazione da un periodo a quello successivo. Il parametro β moltiplica infatti la differenza tra i valori di a_T nel turno attuale e in quello precedente, al quale va sommato il valore di b_T al periodo precedente moltiplicato per uno meno β . Questa seconda relazione consente di modificare il coefficiente angolare, smorzando la tendenza rilevata nell'ultimo periodo.

Il metodo di Holt:

$$p_T(t) = a_T + b_T t, t=1, \dots$$

$$a_t = \alpha y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}) \qquad b_t = \beta(a_t - a_{t-1}) + (1-\beta)b_{t-1}$$

All'inizio di una previsione è necessario impostare con dei valori nulli i coefficienti di Holt dei periodi iniziali, poiché non è possibile avere dei valori della serie storica precedenti. Dopo pochi periodi in cui la presenza di valori nulli precedenti influisce sulla precisione della previsione, il metodo di Holt garantisce dei risultati con un errore percentuale, calcolato con il MAPE, di poco inferiore al 20%. Per questo motivo, per poter ottimizzare la previsione, è stato utilizzato lo stesso metodo dello smorzamento esponenziale delle finestre mobili, provando per ogni periodo da prevedere l'utilizzo di soli quattro e dieci periodi precedenti, per minimizzare gli errori dovuti a valori anomali. In questo caso la previsione migliore è stata quella con la finestra mobile di quattro intervalli. Al contrario dello smorzamento esponenziale, l'utilizzo della finestra mobile a dieci intervalli non ha dato risultati soddisfacenti, con errori percentuali elevati. Il risultato della previsione con la finestra mobile, in Figura 7, ha segnalato un errore percentuale medio ancora più basso, con alcuni periodi che hanno dato un MAPE inferiore al 10%.

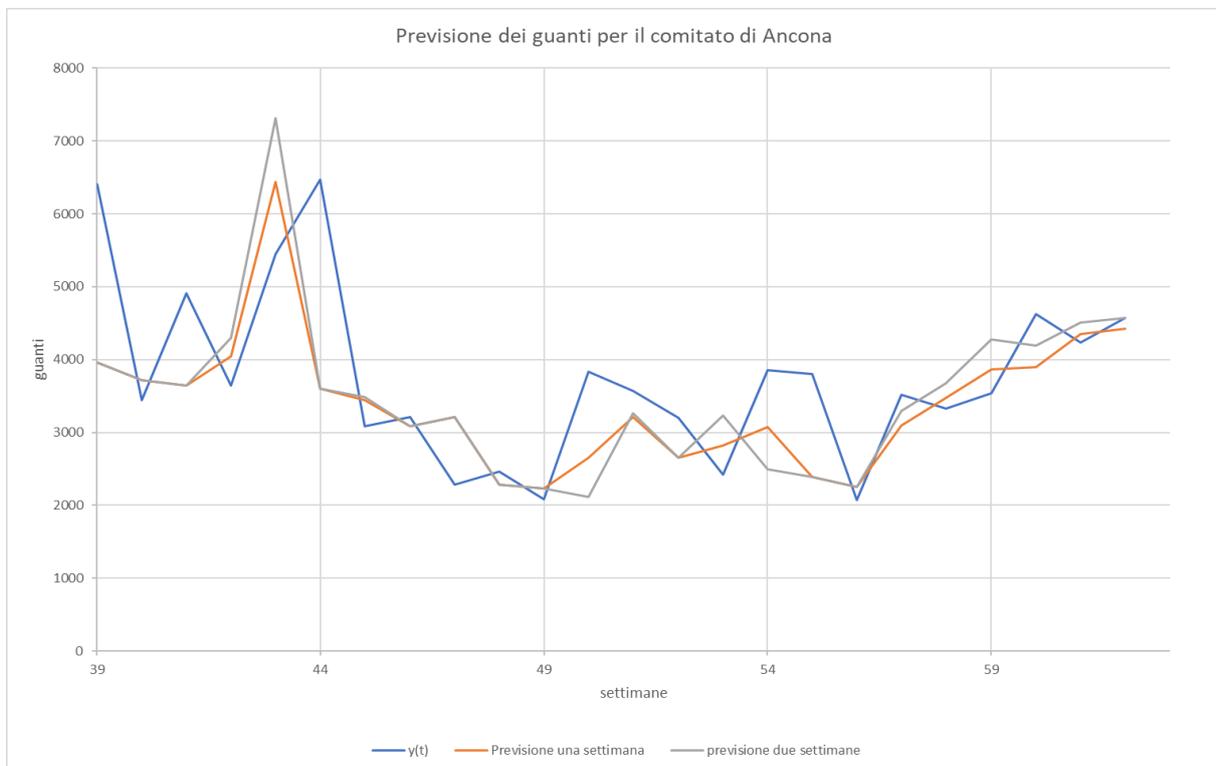


Figura 7: Grafico di previsione con il metodo di Holt.

La calibrazione dei parametri ha utilizzato lo stesso metodo dello smorzamento esponenziale. I parametri del metodo di Holt sono due, entrambi con valori compresi tra zero e uno. È stato preso sempre MAPE come indice di errore da minimizzare, come funzione obiettivo per individuare le variabili ottime costituite dai parametri α e β . Anche in questo caso il calcolo è stato effettuato utilizzando il risolutore non lineare di Excel, in modo tale da avere dei risultati precisi come valori per i due parametri del modello.

4.4.2 Regressione lineare

Il metodo della regressione lineare utilizza la tecnica elementare della determinazione di una retta interpolante che meglio descrive la tendenza del fenomeno da prevedere. Anche in questo caso devono essere determinati due coefficienti, entrambi composti dalle precedenti previsioni e dai valori della serie storica. Il valore di a_T indicherà la stima dei valori medi presenti nella serie storica, mentre il coefficiente angolare b_T indicherà il grado di crescita, quindi la tendenza, della previsione al variare dei periodi. Per la regressione lineare è necessario stabilire il numero dei periodi precedenti da prendere in considerazione per la previsione. Per questo motivo non è stato possibile sfruttare la previsione mediante una finestra mobile come con il metodo di Holt o dello smorzamento esponenziale. L'individuazione dei due coefficienti dipende quindi dal numero di valori più recenti da considerare.

L'interpolazione di questo metodo utilizza una formulazione matematica più complessa. Per individuare il coefficiente angolare è necessaria una somma pesata dei valori precedenti, per individuare il livello dell'andamento della serie storica. Il coefficiente angolare è necessario anche per individuare il valore di a_T , poiché è costituito dalla media dei valori precedenti della serie, sommato al coefficiente b_T .

La regressione lineare:

$$p_T(t) = a_T + b_T t, t=1, \dots$$

$$b_t = \frac{\frac{-(r-1)}{2} \sum_{k=0}^{r-1} y_{t-k} + \sum_{k=0}^{r-1} k y_{t-k}}{\frac{r(r-1)^2}{4} - \frac{r(r-1)(2r-1)}{6}} \quad a_t = \frac{\sum_{k=0}^{r-1} y_{t-k} + b_t \frac{r(r-1)}{2}}{r}$$

La difficoltà maggiore della regressione lineare dipende dal dover decidere il numero ottimale di valori precedenti da prendere in considerazione per effettuare la previsione. Anche in questo caso, come con la media mobile semplice e ponderata, è alto il rischio di errori di previsione in caso di valori irregolari nella serie. considerando la capacità di questo metodo di individuare la tendenza lineare è possibile utilizzare anche un elevato numero di intervalli precedenti. In fase di calibrazione dei parametri è stato tuttavia riscontrato un livello decisamente inferiore di errori percentuali con solo quattro valori precedenti utilizzati. È stato quindi deciso di utilizzare questo numero di valori per il metodo di regressione lineare, dopo aver calcolato un MAPE del 28% per i DPI del comitato di Ancona, eseguendo il calcolo di prova non solo sulla serie storica dei guanti (Figura 8), ma anche sulle altre tipologie di DPI per il comitato di Ancona.



Figura 8: Grafico della previsione con la regressione lineare.

4.5 Regressione lineare causale

Un altro metodo per utilizzare la regressione lineare è tramite la previsione in funzione di un differente valore, che abbia il ruolo di variabile indipendente. La serie storica utilizzata per lo studio della previsione dei DPI è stata stimata attraverso un rapporto di dipendenza con le ospedalizzazioni dei casi di COVID-19. Questo dato è direttamente dipendente dal numero dei contagi, poiché il tasso di ospedalizzazione, sebbene non con regolarità costante, dipende dal numero di contagi settimanali. Questa parte dello studio ha quindi lo scopo di trovare una dipendenza diretta tra il numero dei contagi e il fabbisogno dei DPI, il quale si ipotizza direttamente dipendente. Per fare questo è stata utilizzata una differente applicazione della regressione lineare, in modo da stabilire una funzione che descriva la previsione sotto forma di retta. Anche in questo caso si avranno due coefficienti, tra cui quello angolare che determinerà il tasso di crescita del fabbisogno di DPI.

La procedura necessaria per calcolare la retta che descriverà la previsione è detta metodo dei minimi quadrati. Per questa tecnica è necessario avere la serie storica stimata dei DPI da utilizzare, oltre alla serie storica dei contagi. Per questo calcolo previsionale è stato selezionato un intervallo regolare e breve, con solo le ultime sedici settimane della serie. Prendendo un intervallo più ampio ci sarebbe stato il rischio di avere un errore troppo grande, in quanto questo metodo è fortemente sensibile alle variazioni della serie storica. La tecnica di regressione lineare consiste nel trovare un coefficiente angolare, tramite la media dei valori dei contagi e la media dei dati della serie storica, nell'intervallo considerato. Una volta calcolato il coefficiente angolare è possibile calcolare l'intercetta, quindi il livello del

fabbisogno di DPI settimanale che non dipende dai positivi. Una volta calcolati coefficienti a e b , è possibile stabilire l'equazione che dipenderà, come unica variabile, dal numero di positivi in un intervallo.

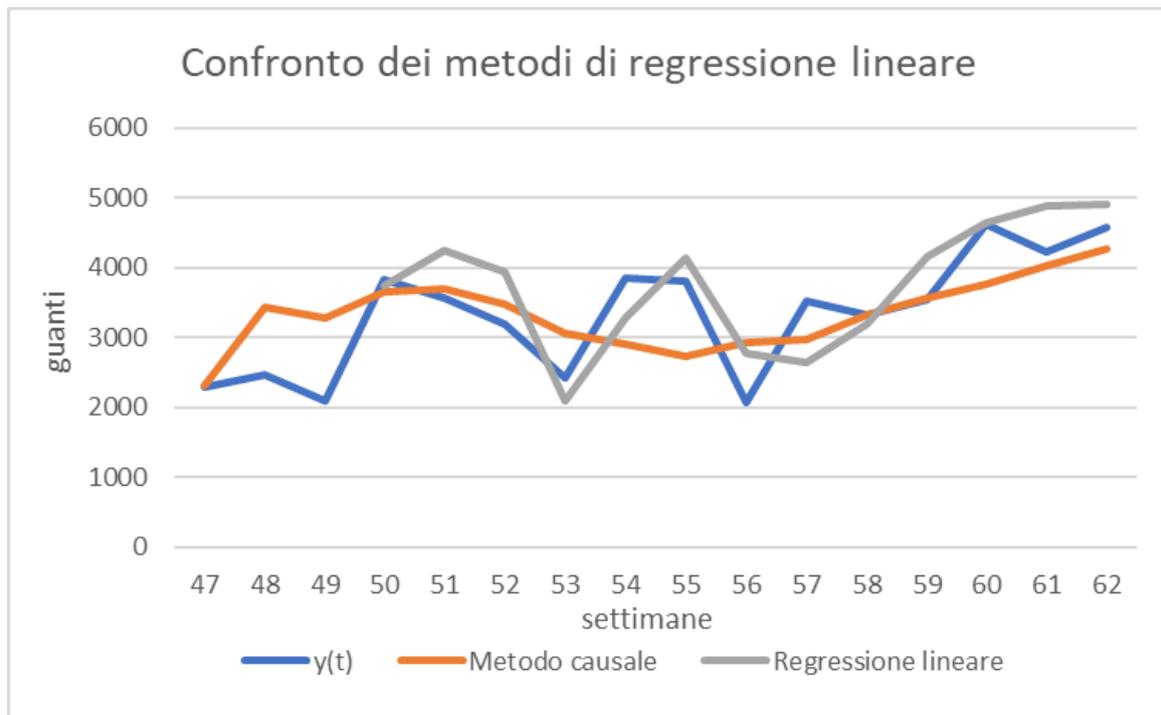


Figura 9: Confronto tra la previsione causale e temporale con la regressione lineare.

Utilizzando questo metodo di regressione lineare è stato possibile arrivare ad un errore di previsione del 18%, con un andamento migliore della regressione lineare in funzione del tempo, calcolato con i metodi delle serie storiche. In Figura 9 è disponibile il confronto tra questi due metodi.

4.6 Gestione delle scorte

Dopo l'importante lavoro di previsione della domanda nei prossimi periodi, è possibile adottare delle politiche di gestione delle scorte, in modo tale da pianificare gli ordini futuri in funzione della domanda. Il fenomeno del fabbisogno dei DPI, come analizzato nel capitolo precedente, ha un andamento variabile nei periodi successivi. Le informazioni della domanda futura sono necessarie per la decisione delle quantità e in quali periodi effettuare gli ordini. Con questa tipologia di domanda, che può variare sensibilmente in futuro e va monitorata con le stesse tecniche periodicamente, è necessario adottare dei modelli deterministici adeguati. Il modello che è stato selezionato per questo lavoro è il modello di Wagner-Whitin, il quale prende in considerazione dei periodi prestabiliti, con intervalli costanti, che avranno una determinata domanda di DPI da soddisfare, la quale sarà variabile. In questo modello è necessario stabilire in quali tra i successivi periodi sarà necessario effettuare il riordino, con la possibilità di usufruire del magazzino per evitare dei costi di riordino elevati ed effettuare un

ordine per ogni settimana. Le caratteristiche del magazzino della CRI hanno dato la possibilità di non considerare un limite di DPI stoccabili, poiché di grandi dimensioni. L'unico dato preso in considerazione per limitare gli acquisti sono stati i costi di gestione dei beni, variabili in funzione della dimensione del lotto da tenere in magazzino. La funzione obiettivo da minimizzare è quindi il costo totale, descritto dalla somma dei costi fissi di riordino, che dipendono dall'eventuale ordine effettuato in una determinata settimana, e dai costi variabili di scorta oltre al periodo di utilizzo. In questo lavoro è stata considerata l'assenza di scorte iniziali, trascurando delle eventuali scorte di sicurezza che dovrebbero essere tenute in magazzino per eventuali picchi di domanda imprevista. La variabile decisionale y_t è 1 se nel periodo t si emette un ordine, 0 altrimenti. La variabile decisionale I_t indica il livello di inventario al periodo t mentre la variabile decisionale q_t la quantità ordinata in tale periodo. Pertanto, il modello appartiene alla classe di modelli di Programmazione Lineare Mista Intera.

$$\text{Min } \sum_{t=1, \dots, T_H} (ky_t + hI_t) \quad (1)$$

$$I_t = I_{t-1} + q_t - d_t, t = 1, \dots, T_H \quad (2)$$

$$q_t \leq y_t \sum_{r=t, \dots, T_H} d_r, t = 1, \dots, T_H \quad (3)$$

$$I_0 = 0 \quad (4)$$

$$I_t \geq 0, t = 1, \dots, T_H \quad (5)$$

$$q_t \geq 0, t = 1, \dots, T_H \quad (6)$$

$$y_t \in \{0,1\}, t = 1, \dots, T_H \quad (7)$$

Il modello di Wagner-Whitin minimizza il costo totale dovuto agli ordini emessi e a livello di inventario rimanente (1). Il livello dell'inventario in un periodo è ottenuto come quello del periodo precedente più la quantità ordinata nel periodo meno la quantità evasa in quel periodo per soddisfare la domanda (2). I vincoli (3) impongono che in ogni periodo si ordini una certa quantità se si decide di emettere un ordine. Comunque, la quantità ordinata non può superare la quantità domandata nel periodo. Il vincolo (4) impone che il livello di inventario iniziale sia nullo. Mentre la natura delle variabili decisionali è esplicitata nei vincoli (5)–(7).

Implementando il modello di Wagner-Whitin sul software di programmazione matematica AMPL, è stato creato un file di dati con le voci di costo e le previsioni del metodo di Holt per le prossime otto settimane. I costi di riordino fissi sono di 70€, mentre il costo di gestione a magazzino è pari a 0,005€ per ogni guanto. Gli altri dati necessari sono le domande dei prossimi periodi. Il modello calcolerà quando effettuare un ordine tra questi otto periodi, specificando anche il costo totale della gestione del magazzino, le quantità da ordinare e le previsioni di inventario settimanale.

Una gestione di questo tipo presenta dei vantaggi anche considerando la possibilità di sapere in anticipo il periodo esatto in cui si avranno a disposizione i nuovi DPI. Un altro vantaggio, fondamentale in contesto emergenziale, è la possibilità di avere più ordini a intervalli relativamente brevi, in modo da modificare le quantità delle forniture future in caso di aumenti del fabbisogno, evitando rischi di mancanza di DPI.

CAPITOLO 5

5.1 Risultati

In questo capitolo verranno descritti i risultati della previsione e della gestione delle scorte. La previsione dei DPI è stata eseguita con cinque metodi diversi, basati sulle serie temporali, con alcuni risultati particolarmente buoni, sotto la soglia del 20% di errore di previsione. Tutti i metodi hanno descritto una tendenza di crescita dei guanti monouso per il comitato di Ancona, che è stato utilizzato come esempio per questo lavoro di tesi, ma ha la stessa tendenza degli altri DPI dei trentatré comitati della CRI delle Marche. Uno dei metodi più precisi tra quelli utilizzati è stato quello di Holt. Questo metodo ha avuto un errore medio percentuale del 20% nella sua prima applicazione, mentre utilizzando una finestra mobile di quattro valori per ogni periodo ha dato risultati ancora migliori con un valore di MAPE del 17%. I risultati di questo metodo sono stati quindi utilizzati come domanda prevista per l'implementazione del modello di gestione delle scorte. Utilizzando una finestra temporale di dieci valori il risultato non è stato soddisfacente. L'errore medio percentuale è stato del 31%, quindi non accettabile come previsione.

Un risultato simile a quello del metodo di Holt, considerando l'applicazione anche in questo caso delle finestre mobili, è stato raggiunto con la previsione tramite lo smorzamento esponenziale. La previsione con questo metodo, dopo aver impostato accuratamente i parametri, ha dato un valore di errore percentuale del 21%. Limitando il numero di valori da considerare per la previsione di ogni periodo, con le finestre mobili di quattro e dieci dati precedenti, i risultati migliorano. Nel caso dello smorzamento esponenziale la migliore previsione avviene considerando due settimane in avanti. In entrambi i casi, con la previsione sempre a una settimana, i risultati rimangono simili all'applicazione di questo modello senza finestra mobile. I risultati di previsione di due settimane future ottengono invece dei risultati molto precisi, con la finestra a intervalli di quattro periodi che riporta un MAPE del 14%, mentre utilizzando dieci settimane precedenti il risultato migliora con un MAPE del 12%. Con questo metodo sono stati riscontrati i valori di errore medio percentuale più bassi.

La media mobile semplice e la media mobile ponderata erano già state impostate con dei parametri che indicavano gli errori medi percentuali più bassi. Il numero ottimo di valori precedenti da prendere in considerazione, con questa serie storica, era di cinque periodi. In questo caso il MAPE era del 20% per entrambi i metodi. Nonostante la media mobile ponderata abbia la capacità di adattarsi in maniera migliore alle variazioni della serie storica, non sono state riscontrate sensibili differenze tra i risultati di questi due metodi. Provando ad aumentare il numero di periodi precedenti il valore del MAPE saliva velocemente, superando la soglia di accettabilità del 30%.

Anche la regressione lineare richiedeva il numero di intervalli precedenti da prendere in considerazione. Il numero ottimale, che minimizzava il livello di MAPE, è stato calcolato di quattro periodi precedenti. Per lo stesso motivo delle medie mobili, la regressione lineare ha avuto risultati non accettabili aumentando il numero di periodi da utilizzare nel calcolo. La particolare irregolarità della serie storica ha comunque limitato la precisione della regressione

lineare, che ha subito la presenza di dati anomali calcolando a sua volta valori che si discostavano molto da quelli della serie storica. Il MAPE della previsione è stato del 28%, il peggiore tra i metodi previsionali utilizzati.

Il risultato dell'utilizzo della regressione lineare come metodo causale ha comunque garantito dei risultati validi. Il MAPE calcolato con questo metodo è stato del 18%, con una precisione decisamente più alta rispetto all'utilizzo della regressione lineare tramite la serie storica. Questa parte del lavoro aveva comunque lo scopo di confermare la dipendenza del fabbisogno dei DPI dal numero di contagi da COVID-19.

I metodi sono stati utilizzati per effettuare una previsione della domanda nelle prossime otto settimane, in modo da garantire dei risultati accurati nel breve termine, con la possibilità di pianificare le scorte per questi otto periodi settimanali. In Figura 13 è presente la tabella con i risultati delle previsioni per i prossimi periodi, con l'indice di errore percentuale stimato per ogni metodo.

Previsione dei guanti per i prossimi otto periodi per il comitato di Ancona						
Settimana	Holt	Regressione lin.	Smorzamento esp.	Media mobile	Media mobile pond.	
1	4582	4915	4519	4058	4269	
2	4756	5185	4774	4267	4509	
3	4930	5455	5029	4477	4749	
4	5105	5726	5284	4686	4989	
5	5279	5996	5539	4896	5229	
6	5454	6266	5794	5105	5469	
7	5628	6536	6049	5314	5709	
8	5802	6806	6304	5524	5949	
MAPE	17%	28%	12%	20%	19,70%	

Figura 10: Risultati della previsione per i prossimi periodi.

I risultati dell'implementazione in AMPL del modello di Wagner-Whitin hanno evidenziato la possibilità di effettuare gli ordini in soli quattro periodi, nelle settimane 1,3,5 e 7, in modo tale da minimizzare i costi di gestione del magazzino e di riordino. Il costo complessivo della gestione del magazzino per le prossime otto settimane è stato stimato di 385,59 €. In Figura 11 è presente la tabella con i dati precisi del calcolo effettuato con il modello di Wagner-Whitin.

Periodo	Domanda	Livello inventario	Quantità da ordinare
1	4582	4756	9338
2	4756	0	0
3	4930	5105	10035
4	5105	0	0
5	5279	5454	10733
6	5454	0	0
7	5628	5802	11430
8	5802	0	0
costo unitario di gestione a magazzino			0,005
costo ordine			70
costo totale previsto			385,585

Figura 11: Risultati dell'applicazione del modello di Wagner-Whitin.

5.2 Sviluppi futuri

In questa tesi è stato presentato un lavoro di previsione dei DPI basato su una serie storica stimata, considerando l'impossibilità di reperire uno storico aggiornato con intervalli regolari da parte della CRI delle Marche. Una gestione di un database a supporto dello storico dell'utilizzo dei DPI per ogni comitato potrebbe favorire l'impiego di queste tecniche anche negli anni futuri da parte della CRI, poiché questi beni sono indispensabili per le operazioni svolte dagli operatori e il loro utilizzo potrebbe rimanere su questi livelli anche a fine emergenza. I risultati delle previsioni hanno descritto infatti una possibile crescita del loro utilizzo, soprattutto di alcune categorie di DPI come i guanti, che hanno un alto tasso di ricambio.

In caso di serie storiche più regolari, come dovrebbe essere a fine pandemia, l'utilizzo di questi metodi potrebbe garantire migliori risultati di previsione, con errori inferiori e un'affidabilità maggiore. Questo risultato può essere garantito da una gestione continua dello storico dell'utilizzo dei DPI. I risultati previsionali possono quindi essere utilizzati in modo da gestire gli ordini, sempre con il modello di Wagner-Whitin, anche nei periodi futuri. Questo metodo consente di pianificare il magazzino minimizzando i costi. La gestione delle scorte può essere fatta anche in futuro con intervalli di riordino più lunghi, ipotizzando un ritorno alla normalità, con una minore domanda di DPI da ordinare.

Bibliografia

- (1) A. M. Caunhye, X. Nie, S. Pokharel (2011). Optimization models in emergency logistics: A literature review. *Socio-Economic Planning Sciences*, 4-13.
- (2) N. Altay, A. Narayanan (2020). Forecasting in humanitarian operations: Literature review and research needs. *International Journal of Forecasting*, 1-11.
- (3) X. Zhu, G. Zhang, B. Sun (2019). A comprehensive literature review of the demand forecasting methods of emergency resources from the perspective of artificial intelligence. *Natural Hazards*, 65-82.
- (4) G. Ghiani, G. Laporte, R. Musmanno (2012). *Introduzione alla gestione dei sistemi logistici*. ISEDI, 9788880083634.
- (5) E. S. Gardner Jr. (2006). Exponential smoothing: The state of the art-Part II. *International Journal of Forecasting*, 637-666.
- (6) K. A. Marill (2004). Advanced Statistics: Linear Regression, Part I: Simple Linear Regression. *Academic Emergency Medicine*, 87-93.
- (7) J.S. Armstrong, F. Collopy (1993). Causal Forces: Structuring Knowledge for Time Series Extrapolation. *Journal of Forecasting*, 103-115.
- (8) K. Lum, J. Johndrow, A. Cardone (2020). Forecasting PPE Consumption during a Pandemic: The Case of Covid-19. *medRxiv*, 1-15.
- (9) H. Li, Y. Ru, X. Xu (2010). Emergency Logistics based on inventory management method. *International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 1338-1341.