

Previsioni stocastiche della popolazione nell'ottica di un Istituto Nazionale di Statistica^{1 2}

Gianni Corsetti,³ Marco Marsili⁴

Sommario

In questo lavoro le ultime previsioni demografiche (2011-2065) condotte dall'Istat rappresentano il punto di partenza per la produzione di previsioni stocastiche, riferite alla popolazione italiana nel complesso.

Con lo scopo di superare i tradizionali limiti della metodologia di tipo deterministico, riguardanti in particolare l'assenza di misure di probabilità associabili alle stime, sono stati implementati due metodi probabilistici: uno basato sulle "opinioni condizionali degli esperti" (Billari et al., 2010), l'altro basato sullo "scaled model of error" (Alho e Spencer, 1997). Sul piano dei risultati il primo dei due metodi proposti risulta più affidabile in termini di valutazione dell'incertezza. Infine, con un punto di vista di produttori istituzionali, nel corso dell'esposizione si tenta di individuare potenzialità e limiti dell'approccio stocastico in generale.

Abstract

The latest official projections for Italy with base year 2011 have been developed by the Italian National Institute of Statistics (Istat) on a set of assumptions about future levels of fertility, mortality and migration – until 2065 –, according to the so called "scenario" approach. In this paper, this latter, purely deterministic information represents the starting point for developing stochastic population projections for Italy as a whole.

Stochastic population forecasts have been produced to overcome the limits associated with the traditional methodology: lack of probability attached to the projections and consequent absence of information about the uncertainty associated with them. For that purpose, two methods have been implemented: a forecast based on the Conditional Expert Opinions (Billari et al., 2010) and another based on the Scaled Model of Error (Alho and Spencer, 1997). Despite the former can be retained more suitable in terms of uncertainty assessment, the aim of this study is to identify potential and limits of stochastic forecasting from the perspective of official projection-makers.

Keywords: population projections, stochastic approach, uncertainty.

¹ Nonostante l'articolo sia frutto del lavoro congiunto dei due autori, i paragrafi 1,2 e 5 possono essere attribuiti a Marco Marsili, mentre i paragrafi 3 e 4 possono essere attribuiti a Gianni Corsetti.

² Una versione preliminare dell'articolo è stata presentata alla *European Population Conference 2012*, Sessione 110, *Issues in stochastic forecasting*, 13-16 giugno 2012, Stoccolma.

³ Istat, Direzione centrale delle statistiche socio-demografiche e ambientali, e-mail: giacorsetti@istat.it.

⁴ Istat, Direzione centrale delle statistiche socio-demografiche e ambientali, e-mail: marsili@istat.it.

Le opinioni espresse in questo lavoro impegnano esclusivamente gli autori e non implicano alcuna responsabilità da parte dell'Istat.

1. Introduzione

L'Istituto Nazionale di Statistica (Istat) ha una consolidata tradizione nel campo delle previsioni demografiche. Dalla metà degli anni '80 l'Istat produce, infatti, le previsioni ufficiali per l'Italia adottando un approccio di tipo deterministico. Questa metodologia prevede la costruzione di tre varianti plausibili, realizzate in base a ipotesi differenziate circa l'evoluzione futura delle componenti demografiche in gioco (natalità, mortalità, migratorietà), nel più generale quadro del *cohort-component model* (Rogers, 1985).

Le ultime previsioni ufficiali (2011-2065) sono state sviluppate formulando ipotesi fino al 2065 sui futuri livelli della fecondità, della mortalità e del movimento migratorio, nel contesto del cosiddetto approccio scenario (Cliquet, 1993): una variante principale viene definita come scenario sul quale maggiormente si fondano le aspettative future; questa viene a sua volta integrata da due varianti, ovvero lo scenario alto e basso, che hanno il compito di definire, in un contesto deterministico, il livello futuro di incertezza.

Le previsioni demografiche dell'Istat presentano un profilo multi-regionale: prodotte distintamente per regione (livello NUTS2), i dati per l'Italia nel complesso sono il frutto del risultato che si ottiene dalla somma di 21 previsioni regionali. Le ipotesi demografiche regionali sono definite individualmente in un quadro di progressiva convergenza. Ciò comporta che le regioni, per ciascuna componente demografica, raggiungono lo stesso valore in un ipotetico anno del lontano futuro, posto oltre l'orizzonte temporale delle previsioni.

Negli ultimi anni, presso alcuni Istituti di Statistica nazionali e internazionali, hanno preso piede diverse strategie per il superamento del modello deterministico e per il passaggio a un approccio di tipo probabilistico. Tra i più interessanti studi di questo genere, possono essere citati quelli eseguiti presso *UN-Population Division* (Heilig et al., 2010), *Eurostat* (Bertino et al., 2010), Regno Unito-*ONS* (Rowan e Wright, 2010) e, soprattutto, le previsioni pubblicate dal *CBS* (Paesi Bassi), il primo ufficio statistico a diffondere online previsioni probabilistiche sul sito internet istituzionale (CBS, 2011).

L'obiettivo principale delle previsioni stocastiche è quello di misurare l'incertezza associata ai valori previsti, determinando gli intervalli di confidenza delle variabili demografiche. Rispetto alle previsioni deterministiche, dove all'utente non vengono fornite misure di probabilità, si tratta di un avanzamento metodologico importante. Di fatto, col passaggio all'approccio stocastico, l'utente può smettere di affidarsi ciecamente al lavoro degli esperti, che per lui hanno predefinito i confini alternativi alla variante ritenuta "più probabile" (Abel et al., 2010), fino a potersi scegliere personalmente il grado di fiducia da assegnare ai risultati. Peraltro, la pratica di utilizzare l'approccio a scenari, adottata da molti uffici statistici, è stata in passato oggetto di critiche anche sul piano definitorio. Gli scenari deterministici alto e basso, si sostiene, mostrano il limite di risultare piuttosto improbabili a verificarsi, pur essendo costruiti per tenere conto del fatto che il futuro è incerto (Lee, 1998).

Definite una serie di ipotesi sulle distribuzioni di probabilità sottostanti, le previsioni stocastiche offrono, invece, il vantaggio di fornire all'utente la probabilità associata a ciascun parametro demografico del suo verificarsi in futuro.

Negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi metodi di previsione stocastica e tre sono i filoni di appartenenza nei quali è possibile raggrupparli:

- previsioni probabilistiche basate sull'analisi degli errori delle previsioni passate;
- previsioni probabilistiche basate sulle opinioni degli esperti;

- previsioni probabilistiche basate sull'analisi di serie storiche.

In questo lavoro si illustra il tentativo di costruire previsioni demografiche probabilistiche per il complesso dell'Italia, in aggiunta e in confronto alle previsioni deterministiche ufficiali rilasciate dall'Istat.

Due sono i metodi implementati: uno basato sulle *expert conditional opinions* (Billari et al, 2012.); un secondo applicando il modello denominato *Scaled Model of Error* (Alho e Spencer, 1997). Il primo metodo, che rientra nella classe dei modelli *random scenario*, usa i pareri forniti da esperti circa l'evolvere dei principali indicatori demografici e, quindi, deriva da tali pareri le distribuzioni di probabilità condizionate. Il secondo si basa sull'estrapolazione degli errori empirici da previsioni condotte in passato, al fine di individuare un modello probabilistico degli errori da associare alle nuove previsioni.

Per entrambi i metodi stocastici le ipotesi di lavoro definite nelle previsioni ufficiali dell'Istat costituiscono la base informativa di partenza. In particolare, nel metodo *expert-based* i pareri degli esperti sono stati sostituiti dagli scenari deterministici Istat, ipotizzando che, in questa prima fase sperimentale tesa a valutare l'efficacia del modello, tale scelta risulti sufficiente a surrogare gli esperti esterni. Nello *Scaled Model of Error* i dati di input sono costituiti dai tassi specifici di fecondità e mortalità per singolo anno di età, e dai valori assoluti per età del numero di immigrati ed emigrati con l'estero. In pratica, dalle previsioni deterministiche si deriva l'input per i due metodi stocastici, ma differenti sono le modalità con le quali quest'ultimo è incluso nel trattamento dei dati.

La sezione seguente illustra le scelte operative e le procedure adottate per il trattamento delle ultime previsioni deterministiche dell'Istat (Istat, 2011).

Nella terza sezione si espongono i metodi stocastici e la loro implementazione sulla base degli input a disposizione.

Nell'ultima parte vengono riassunti i risultati conseguiti grazie ai due metodi stocastici, illustrando anche un confronto col metodo deterministico. Purtroppo, in questo lavoro non è stato possibile effettuare confronti tra i risultati qui proposti e quelli ottenuti in precedenti simulazioni stocastiche sull'Italia, condotte da altri Istituti. In primo luogo, ciò si deve al fatto che tali studi sono stati finora limitati. Inoltre, gli unici disponibili hanno il difetto di essere o troppo datati (cfr. UPE, Alho e Nikander, 2004), e dunque superati dagli eventi demografici recenti, oppure non trattano integralmente ogni componente demografica sotto l'approccio probabilistico, come nel caso del modello recentemente proposto dalla UN-Population Division (UN, 2011) da cui sono escluse le migrazioni internazionali.

Le conclusioni riassumono, in sintesi, vantaggi e svantaggi dei vari metodi, dando spazio alle prospettive ma anche ai nodi irrisolti per gli Istituti di Statistica in funzione dell'uno o dell'altro approccio.

2. Le proiezioni deterministiche ufficiali: dati, metodologia e ipotesi

2.1 Dati e metodologia

Le elaborazioni delle ultime previsioni Istat sono condotte con il tradizionale *cohort-component model*, col classico obiettivo di prevedere la numerosità degli eventi demografici in ciascun anno di calendario, classificati per regione, sesso e singola classe di età.

Le ipotesi demografiche sono state definite ricorrendo alle seguenti serie di dati:

- per la fecondità, i tassi specifici per età del periodo 1952-2008;
- per la mortalità, le tavole di mortalità del periodo 1974-2008;
- per le migrazioni nazionali e internazionali, i dati del periodo 2005-2009.

Sulla base di alcuni dati provvisori già disponibili e con opportuni procedimenti di stima, tali serie storiche sono state quindi completate fino al 2010. La popolazione base delle previsioni è pertanto quella al 1° gennaio 2011.

Come premesso in introduzione, è stata adottata una ipotesi di convergenza tra le regioni italiane, assumendo che le differenze territoriali in termini di comportamento demografico tendano a diminuire nel lungo periodo. Il concetto di convergenza nelle previsioni demografiche è stato ampiamente utilizzato anche nel recente passato (UN-Population Division, 2011; Eurostat 2011). L'assunto principale è che le differenze socio-economiche e culturali tra le regioni tenderanno a ridursi progressivamente nel lungo termine, implicando anche una convergenza nel contesto demografico. Peraltro, il vincolo di convergenza è utile anche per limitare la variabilità regionale dei futuri andamenti delle tre componenti demografiche, consentendo di evitare la definizione di scenari irrealistici a livello nazionale.

Dal punto di vista operativo la piena convergenza tra le regioni è stata fissata ben oltre l'orizzonte temporale delle previsioni. Le scelte effettuate per garantire lo scenario di convergenza variano a seconda della componente demografica. Tali scelte sono descritte di seguito, assieme alle ipotesi dalle quali si sono ricavate intensità complessiva e profili per età dei principali indicatori demografici futuri.

2.2 Ipotesi sulla fecondità

La previsione del Tasso di Fecondità Totale (TFT) per l'Italia e per ogni singola regione è stata condotta ricorrendo alla *time-series analysis* applicata ai dati dal 1952 al 2010. Da tale analisi un modello della classe *LogisticARIMA(1,1,0)* è apparso come il più idoneo a prevedere l'intensità futura del comportamento riproduttivo. Il vincolo di convergenza sullo scenario centrale prevede che, dal 2011 al 2130 (anno di convergenza), il TFT di ogni regione converga linearmente al valore nazionale.

Gli scenari alternativi sono stati definiti utilizzando gli intervalli di confidenza delle previsioni dello scenario principale, a livello sia regionale sia nazionale, e ripetendo lo stesso procedimento di convergenza descritto sopra.

Nello scenario centrale si prevede un andamento crescente del TFT nazionale, che passa da 1,42 a 1,61 figli per donna nel periodo 2011-2065. Lo scenario alto presenta una crescita più consistente, che giunge fino a 1,83 figli per donna. Infine, nello scenario basso il TFT si mantiene sostanzialmente costante, raggiungendo nel 2065 un valore pari a 1,38 figli per donna.

Il profilo per età del comportamento riproduttivo è stato determinato in termini di tassi specifici di fecondità per età della madre. La serie 1952-2010 di tali tassi è stata modellata utilizzando un sistema di funzioni *quadratic splines* (QS) sviluppato da Schmertmann (2003). In generale, il modello di Schmertmann descrive la curva dei tassi di fecondità in funzione di tre parametri:

- l'età di inizio dell'età fertile α ;
- l'età P in cui la fecondità raggiunge il suo livello massimo;
- la più giovane età H dopo P nella quale la fecondità si dimezza rispetto al livello

massimo.

Il modello QS adatta cinque polinomi di secondo grado alle curve di fecondità. La funzione finale risulta continua con la derivata prima anch'essa continua. Inoltre, grazie ad opportune restrizioni matematiche essa è univocamente determinata dai tre parametri $[\alpha, P, H]$ elencati sopra.

La previsione fino al 2065 dei tre parametri di Schmertmann per ogni regione e per l'Italia nel complesso è stata prodotta come segue:

- α è modellato come un AR (1) e si ipotizza sia identico per ciascuna variante;
- P e H sono modellate come un LogisticARIMA (2,1,0);
- le stime regionali di α, P e H convergono al 2130 ai valori ottenuti per l'Italia.

La tabella 1 illustra per l'Italia le ipotesi di scenario per il TFT e per i singoli parametri del modello di Schmertmann.

Tabella 1 - Parametri del modello di Schmertmann e TFT per scenario, Italia 2011-2065

ANNO	α	P			H			TFT		
		Basso	Centrale	Alto	Basso	Centrale	Alto	Basso	Centrale	Alto
2011	11,96	32,37	32,52	32,65	37,54	37,67	37,80	1,40	1,42	1,44
2020	12,39	32,24	32,92	33,49	37,46	37,91	38,32	1,38	1,46	1,53
2030	12,68	32,01	33,17	34,11	37,26	37,95	38,58	1,37	1,49	1,60
2040	12,85	31,71	33,36	34,58	37,10	37,98	38,77	1,37	1,53	1,67
2050	12,95	31,44	33,50	34,93	36,94	38,00	38,91	1,37	1,56	1,74
2060	13,04	31,20	33,62	35,19	36,79	38,00	39,01	1,37	1,60	1,80
2065	13,07	31,10	33,67	35,31	36,73	38,00	39,05	1,38	1,61	1,83

2.3 Ipotesi sulla mortalità

Le previsioni circa la misura complessiva dei decessi e della loro distribuzione per età sono state prodotte ricorrendo al modello di Lee-Carter (Lee e Carter, 1992). Il modello approssima la forma logaritmica dei tassi di specifici di mortalità utilizzando i seguenti parametri: $k(t)$, $a(x)$ e $b(x)$. Il primo è un indice di mortalità generale variabile nel tempo, mentre $a(x)$ e $b(x)$ sono parametri che dipendono soltanto dall'età. I tre parametri sono tra loro collegati da una relazione quasi costante, che nel caso di specie è stata derivata applicando il modello alla serie storica 1974-2000.

Come per la fecondità, anche per la mortalità la costruzione del modello origina dalla definizione di uno scenario di riferimento a livello nazionale. La previsione si determina proiettando nel futuro il solo parametro $k(t)$ nazionale, mentre i parametri $a(x)$ e $b(x)$ rimangono in questa fase invariati nel tempo. In particolare, la trasformazione logaritmica dei tassi di mortalità porta a determinare una serie 1974-2010 del parametro $k(t)$ che, per via della sostanziale linearità, è stata proiettata sul 2011-2065 con la tecnica del *random walk with drift*. Ottenuto in tal modo lo scenario centrale, gli scenari alternativi sono stati poi generati selezionando opportuni intervalli di confidenza della serie prevista $k(t)$.

Tabella 2 - Speranza di vita alla nascita e all'età di 65 anni per sesso e scenario, Italia 2011-2065

ANNO	Maschi						Femmine					
	Alla nascita			A 65 anni			Alla nascita			A 65 anni		
	Basso	Centrale	Alto	Basso	Centrale	Alto	Basso	Centrale	Alto	Basso	Centrale	Alto
2011	79,2	79,5	79,8	18,3	18,4	18,6	84,3	84,6	84,9	21,8	22,0	22,2
2020	80,2	81,2	82,1	18,9	19,5	20,2	85,1	86,2	87,2	22,4	23,2	24,0
2030	81,4	82,8	84,1	19,7	20,7	21,6	86,2	87,7	89,2	23,2	24,5	25,7
2040	82,5	84,2	85,7	20,5	21,7	22,8	87,1	89,1	90,8	24,0	25,5	27,0
2050	83,4	85,3	87,0	21,1	22,5	23,8	87,9	90,2	92,2	24,6	26,5	28,2
2060	84,1	86,2	88,1	21,6	23,2	24,7	88,6	91,1	93,4	25,1	27,3	29,2
2065	84,4	86,6	88,6	21,8	23,5	25,1	88,8	91,5	93,8	25,4	27,6	29,7

Le ipotesi a livello regionale vengono fatte discendere dallo scenario di riferimento nazionale stimando in primo luogo i valori regionali dei tre parametri nel 1974-2000 con la stessa metodologia e, successivamente, facendo convergere ogni parametro regionale al corrispondente parametro nazionale al 2165. Pertanto, come conseguenza del processo di convergenza e diversamente dall'impostazione classica del modello di Lee-Carter, qui si fanno variare nel tempo anche i parametri regionali $a(x)$ e $b(x)$.

Guardando ai risultati più evidenti, la speranza di vita alla nascita è prevista in aumento, soprattutto per gli uomini, sebbene non allo stesso ritmo di quello osservato negli ultimi 30 anni. In particolare, nello scenario centrale la speranza di vita alla nascita sale da 79,5 a 86,6 anni per gli uomini (+7,1) e da 84,6 a 91,5 anni per le donne (+6,9).

2.4 Ipotesi sui flussi migratori

Negli ultimi anni i flussi di immigrati sono diventati più sostenuti che in passato, in particolare a causa del crescente numero di arrivi dall'Europa orientale e dalle zone del sud del mondo. Come risultato, le migrazioni internazionali rappresentano ormai una componente cruciale anche per le previsioni demografiche. Esse comporteranno, infatti, un significativo impatto sia sulla struttura per età della popolazione sia sulla composizione etnica del Paese.

Pertanto, al fine di catturare le tendenze più recenti, le previsioni Istat concentrano l'analisi solo sugli ultimi sei anni, vale a dire sul 2005-2010. Questo limite, unito alla generale complessità di costruire modelli di previsione sulle migrazioni internazionali, sconsiglia l'utilizzo di un approccio basato su analisi di serie storiche, preferendo scegliere un modello molto più semplificato.

A fronte di ciò, nel primo anno di proiezione (2011) gli ingressi e le uscite totali sono costruite sul valore medio osservato nel corso degli ultimi sei anni. In conformità con il quadro generale di convergenza del modello previsivo, si suppone che ingressi e uscite convergano nel lungo periodo al medesimo livello, ossia alla semisomma iniziale dei due valori.

La procedura descritta sopra, applicata distintamente per regione, conduce ai risultati nazionali che sono illustrati nella Figura 1. Ciò che differenzia le tre varianti è l'anno in cui la convergenza verrebbe a verificarsi: nel 2130 per lo scenario centrale, nel 2095 in quello basso e nel 2165 in quello alto. Il modo in cui i flussi in uscita convergono nel lungo periodo è lineare, mentre è quasi lineare per i flussi in entrata. Infatti, per i primi anni di

previsione è stato introdotto un fattore di riduzione decrescente all'immigrazione, in modo da accelerare la decrescita del numero di arrivi. Con questa riduzione non solo si generano valori maggiormente plausibili circa il numero totale di immigrati lungo il periodo di previsione ma si evita anche una crescita improbabile della popolazione con origine straniera.

Una volta determinati i totali dei flussi in ingresso e in uscita, le distribuzioni per età vengono derivate applicando il modello *Castro-Rogers* (Rogers and Castro, 1981) ai microdati osservati del periodo 2005-2010. I parametri del modello vengono poi tenuti costanti lungo il periodo di previsione (Figura 2).

Anche se non rappresenta un elemento di analisi del presente studio, vale la pena ricordare l'importante ruolo svolto dalle migrazioni interne per un Paese come l'Italia quando si lavora su previsioni regionali. Il loro contributo nel determinare lo sviluppo della popolazione regionale resta ancora significativo, soprattutto se confrontato con la debole dinamica prodotta dalle componenti del movimento naturale, la natalità e la mortalità. Per l'Italia si valuta che nel corso degli ultimi cinque anni, in media circa 1,4 milioni di persone abbiano trasferito la residenza per altre destinazioni interne, il 25% dei quali con destinazione interregionale.

Nelle previsioni regionali dell'Istat si è tenuto sempre conto delle migrazioni interne. Il modello parte dalla costruzione di una matrice multi-regionale di probabilità migratorie per regione di origine, regione di destinazione, sesso ed età. Tale matrice, applicata alla popolazione a rischio di migrare, fornisce, per ogni anno di previsione una serie coerente di immigrati/emigrati da/per ogni regione. Più in dettaglio, la matrice di probabilità è costruita applicando il modello *Castro-Rogers* ai microdati 2005-2010, per ogni coppia regionale origine/destinazione. Gli scenari alternativi vengono costruiti con un approccio deterministico, aumentando o diminuendo il livello di migrazione interna tra le regioni italiane (ad esempio, modificando la propensione a spostarsi dal Sud verso le regioni settentrionali diminuendola del 5% ogni anno).

Figura 1 - Migrazioni internazionali: valori attesi del numero di Emigrati e Immigrati per anno di calendario e scenario (in migliaia)

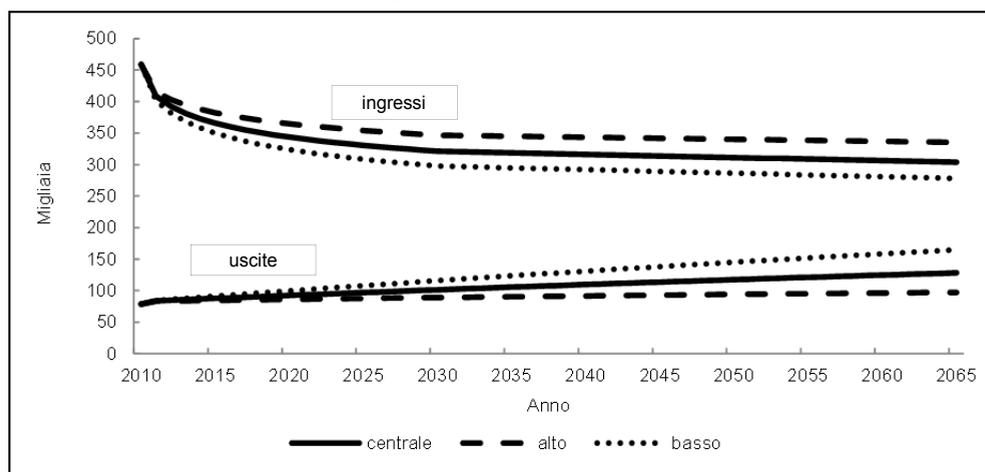
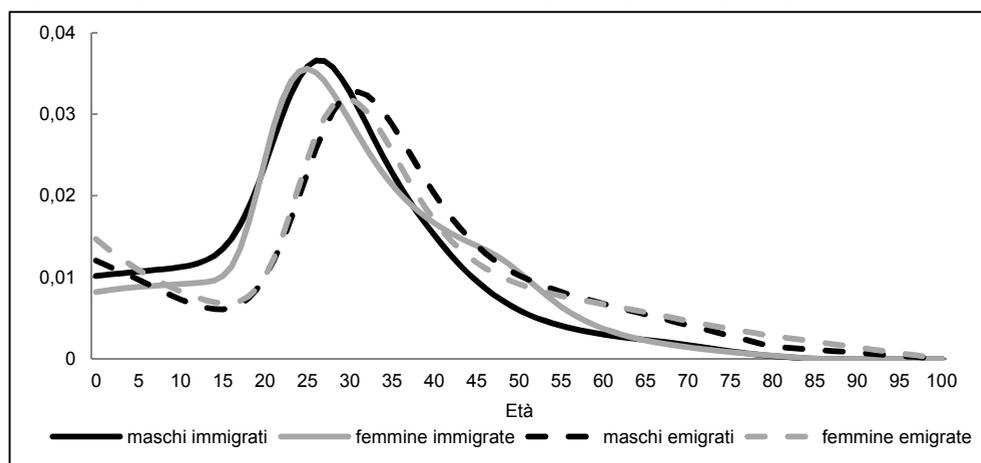


Figura 2 - Migrazioni internazionali: profili per età degli immigrati e degli emigrati per sesso

3. Implementazione di due modelli stocastici a livello nazionale

Prima di descrivere i dettagli delle procedure utilizzate per la costruzione delle previsioni stocastiche, è necessario fare alcune considerazioni sulle ragioni che ci hanno indirizzato nella scelta dei due metodi probabilistici proposti.

Il metodo *Scaled Model of Error* (SME) è stato ampiamente utilizzato in studi internazionali nel corso dell'ultimo decennio. Esso rappresenta un punto di riferimento per gli studiosi che mirano a produrre previsioni probabilistiche. Si deve inoltre sottolineare la sua semplicità di utilizzo, grazie alla disponibilità del software PEP (*Program of Error Propagation*), dei parametri necessari alla sua esecuzione e di un'ampia e approfondita bibliografia sull'argomento.

Il secondo metodo, basato sulle opinioni condizionali degli esperti, è invece piuttosto nuovo, anche se i presupposti teorici su cui si basa sono meno recenti. Nonostante ciò, a nostro avviso questo metodo è facile da comprendere e da applicare. Peraltro, esso consente ampia flessibilità per ciò che concerne i dati e le ipotesi che occorrono alla sua applicazione.

Ricordiamo, inoltre, che le previsioni deterministiche dell'Istat forniscono i dati di input per le due previsioni probabilistiche, che potranno così essere uniformemente sottoposte a comparazione relativamente ai risultati prodotti. In particolare, le proiezioni deterministiche offrono il punto di riferimento dei risultati generati con i metodi stocastici, soprattutto per quanto riguarda la misurazione dell'incertezza che è, come ricordato sopra, il vero valore aggiunto che si ottiene con l'introduzione dei metodi probabilistici.

Nello specifico, senza fare ricorso a esperti esterni, considereremo noi stessi come esperti e le previsioni deterministiche come la risposta di un esperto per l'implementazione del modello *expert-based*. Invece, per ciò che concerne il metodo *Scaled Model of Error*, le previsioni deterministiche forniscono gli input necessari per eseguire il software PEP sotto forma di valori attesi delle distribuzioni statistiche delle tre componenti demografiche.

3.1 Il modello Expert-Based

Il modello *expert-based* (EBM) si fonda sull'elicitazione di una serie di parametri da cui viene derivata la futura evoluzione stocastica di ciascuna componente demografica. Gli esperti sono chiamati a fornire dei valori rispetto ad una serie di indicatori demografici di sintesi, condizionatamente ai valori assunti dagli stessi indicatori in istanti di tempo precedenti (Billari, Graziani e Melilli, 2010). Indicare il valore della speranza di vita alla nascita nell'anno 2065 dato il valore previsto nel 2040, è un pratico esempio di come funziona il meccanismo.

Per ogni indicatore demografico (R) si prendono in considerazione due istanti temporali: un anno intermedio $t(1)$ e un anno $t(2)$ corrispondente all'ultimo anno di previsione. Nel nostro studio si considera $t(0) = 2011$, $t(1) = 2040$, $t(2) = 2065$, generando in questo modo due sotto-intervalli, 2011-2040 e 2040-2065.

Si presume che il vettore $\{R[t(1)], R[t(2)]\}$ si distribuisca come una normale bivariata. Il passo successivo è quello di ottenere i valori del parametro demografico per ogni anno di previsione tramite interpolazione di funzioni lineari o quadratiche. La scelta tra le due modalità di interpolazione, lineare o quadratica, viene assunta in base a un criterio di rappresentabilità ottimale derivante dallo studio della serie storica osservata.

Abbiamo scelto di sintetizzare le componenti demografiche attraverso i seguenti indicatori: tasso di fecondità totale (TFT); speranza di vita alla nascita per sesso (LEM, LEF); migrazioni con l'estero per sesso (IMM, IMF, EMM, EMF). Le distribuzioni per età di tali indicatori (tassi specifici di fecondità e mortalità, numero di migranti in ciascuna classe di età) sono derivate successivamente applicando modelli demografici di cui si fa menzione in seguito.

Per la fecondità la risposta degli esperti consiste nel valore previsto del TFT nel 2040 e nel 2065 in base agli scenari deterministici dell'Istat. Da tale coppia di valori si determina la previsione dei due sotto-intervalli 2011-2040 e 2040-2065 attraverso un'interpolazione lineare. Come si può vedere, il vantaggio principale del metodo consiste nella sua estrema semplicità: sono sufficienti due valori dell'indicatore del TFT, in questo caso, per derivare tutta la serie 2011-2065. Analogo procedimento viene adottato per ricavare i tassi specifici di fecondità per età della madre. In tal caso oggetto di valutazione sono i due parametri P e H del modello di Schmertmann che sono stati esplicitati al 2040 e al 2065 in base agli scenari deterministici Istat.

L'interpolazione della speranza di vita alla nascita nei due sub-intervalli di tempo è ottenuta tramite una funzione quadratica. I tassi specifici per età provengono dal modello di Lee-Carter nazionale. In questo caso i parametri $a(x)$ e $b(x)$ rimangono invariati rispetto al modello deterministico, mentre il parametro $k(t)$ si ottiene ex-post vincolando il modello ai valori della speranza di vita alla nascita ottenuti con le elicitazioni.

Per le emigrazioni all'estero la funzione prescelta per interpolare i due periodi 2011-2040 e 2040-2065 è di tipo lineare, mentre per le immigrazioni dall'estero è di tipo quadratico. Sia per le emigrazioni sia per le immigrazioni la struttura per singolo anno di età è determinata col modello *Castro-Rogers*, conservando i parametri definiti con le previsioni deterministiche. Nella Tabella 3 sono riportati i valori degli indicatori ricavati sotto le ipotesi degli scenari centrale e alto delle previsioni Istat.

Tabella 3 - Ipotesi Istat su fecondità, speranza di vita alla nascita e migrazioni internazionali - anni 2040 e 2065

INDICATORI	2010	2040	2040	2065	2065
	Osservato	Centrale	Alto	Centrale	Alto
TFT	1,41	1,53	1,67	1,61	1,83
P	32,57	33,36	34,58	33,67	35,31
H	37,75	37,98	38,77	38,00	39,05
Speranza di vita -maschi	79,20	84,20	85,70	86,60	88,60
Speranza di vita -femmine	84,40	89,10	90,80	91,50	93,80
Immigrati – maschi	199.880	146.048	158.460	141.286	155.487
Immigrati – femmine	231.895	170.163	184.891	162.568	179.850
Emigrati – maschi	39.738	55.898	47.930	64.204	50.427
Emigrati – femmine	33.630	53.824	43.771	63.917	46.861

Per stimare la variabilità attraverso la quale ottenere la previsione stocastica si ricorre, ancora una volta, all'output delle previsioni deterministiche. La variabilità complessiva della previsione deterministica può essere misurata confrontando lo scenario centrale con uno dei due scenari alternativi. Al fine di evitare una sottostima della varianza è necessario scegliere lo scenario che si discosta maggiormente da quello centrale. Nel nostro caso, la scelta tra le due varianti è interamente soggettiva perché non influenza i risultati. I valori forniti dagli scenari alto e basso sono, infatti, pressoché equidistanti dallo scenario centrale e, per questo motivo, il calcolo delle varianze e covarianze produce valori molto vicini tra loro.

Nell'ipotesi che gli indicatori siano indipendenti, esplicitare la distribuzione normale bivariata $\{R [2040], R [2065]\}$, conduce quindi a definire:

- $\mu(1)$ come il valore assunto dall'indicatore R nello scenario centrale al tempo $t(1)$;
- $q(1)$ come il valore assunto dall'indicatore R nello scenario alto al tempo $t(1)$, valore che può essere considerato come il quantile di ordine q della distribuzione;
- $\mu(2) = E \{R [2065] | R [2040] = \mu(1)\}$ come il valore assunto nello scenario centrale dall'indicatore R al tempo $t(2)$, dato che, al tempo $t(1)$, lo stesso aveva assunto il valore $\mu(1)$;
- $q(2) = E \{R [2065] | R [2040] = q(1)\}$ come il valore assunto nello scenario alto per l'indicatore R al tempo $t(2)$ dato che, al tempo $t(1)$, lo stesso aveva assunto il valore $q(1)$.

Una volta raccolti i dati necessari si è nelle condizioni di definire il processo stocastico per ciascun indicatore demografico.

Sulla base delle corrispondenti distribuzioni normali bivariate sono state così effettuate 1.000 simulazioni con il metodo MonteCarlo e, per ciascuna di esse, è stato elaborato il modello *cohort-component*. La Tabella 4 mostra medie, varianze e coefficienti di correlazione per ogni indicatore demografico, dove $q=0,9$ è l'ordine prescelto del quantile della variabile casuale normale $R[t]$.

Tabella 4 - Medie, varianze e correlazioni ottenute sotto le ipotesi degli scenari Istat (q=0.9)

INDICATORI	μ_{2040}	μ_{2065}	σ^2_{2040}	σ^2_{2065}	P
TFT	1,53	1,61	0,01	0,04	0,844
P	33,36	33,67	0,90	2,39	0,803
H	37,98	38,00	0,38	0,98	0,800
Speranza di vita - maschi	84,20	86,60	1,37	3,58	0,800
Speranza di vita - femmine	89,10	91,50	1,76	4,69	0,804
Immigrati – maschi	146.000	141.000	94.000	201.000	0,753
Immigrati – femmine	170.000	163.000	132.000	292.000	0,761
Emigrati – maschi	56.000	64.000	39.000	148.000	0,866
Emigrati – femmine	54.000	64.000	62.000	228.000	0,861

3.2 Lo Scaled Model of Error

La seconda simulazione probabilistica è stata prodotta ricorrendo allo *Scaled model of error* (Alho e Spencer, 1997). Di tale modello, oltre alla metodologia, è disponibile per l'uso anche uno specifico software, denominato PEP, appositamente predisposto per produrre previsioni demografiche dei Paesi europei nell'ambito del progetto *Uncertain Population of Europe Program Project* (UPE, Alders e al., 2007).

Nello *Scaled model of error* (SME) la distribuzione dei tassi specifici di fecondità, quella dei tassi specifici di mortalità e quella dei valori netti di migratorietà per età sono considerate distribuzioni statistiche di ingresso. Per ogni componente il modello richiede, inoltre, la specificazione della correlazione dell'errore in base all'età e al tempo, e la correlazione tra la mortalità maschile e quella femminile.

In dettaglio, il logaritmo di un generico tasso specifico per età, $\log R[j,t]$ viene definito come segue:

$$\log R[j,t] = \log \check{R}[j,t] + X[j,t], \quad j=1 \dots J, \quad t=1 \dots T$$

dove $\check{R}[j,t]$ è il valore del tasso (o, nelle caso delle migrazioni, il numero netto di migranti con l'estero) che prendiamo dalle previsioni deterministiche e che rappresenta il valore atteso della distribuzione statistica; j è la notazione per l'età; t è la notazione per il tempo; $X[j,t]$ è la distanza (errore) tra il vero valore del tasso e il valore assunto di input. L'ultima componente nell'espressione rappresenta la sommatoria degli errori di previsione lungo l'intero arco temporale:

$$X[j,t] = \varepsilon[j,1] + \dots + \varepsilon[j,t].$$

Nel modello SME si fa l'ipotesi che gli incrementi dell'errore assumono la seguente forma:

$$\varepsilon[j,t] = S[j,t] * [\eta(j) + \delta(j,t)]$$

dove (Graziani e Keilman, 2011):

- $S[j,t]$ sono termini di scala di natura deterministica;
- le variabili $\eta(j)$ dipendono soltanto dall'età e si distribuiscono secondo una distribuzione normale con media 0 e varianza pari a $k(j)$; si assume, inoltre, che la correlazione tra le due variabili presenti una struttura del tipo AR(1).
- le variabili $\delta(j,t)$ sono incorrelate nel tempo e, per ogni anno t , si distribuiscono

come una v.c. Normale con media 0 e varianza pari a $1 - k(j)$; la correlazione $[\delta(i), \delta(j)]$ è trattata allo stesso modo delle variabili $\eta(j)$;

- le variabili $\eta(j)$ e $\delta(j)$ sono assunte incorrelate tra loro.

Infine, le ipotesi sui parametri del modello – k , S e le correlazioni – sono le stesse di quelle utilizzate nell'ambito del progetto UPE. I risultati finali sono stati aggregati ex-post dopo aver effettuato 1.000 simulazioni.

4. Principali risultati

Prima di esporre i risultati, è necessario fare una considerazione preliminare riguardo al fatto che i due metodi studiati producono output di diverso contenuto. L'uso del software PEP, alla base del modello SME, fornisce in uscita non molti elementi, tra cui la distribuzione della popolazione e la speranza di vita per sesso, età ed anno di calendario. Non sono disponibili, pertanto, informazioni circa i flussi demografici (nascite, decessi, migrazioni) né in forma aggregata né tantomeno distinta per età.

Il metodo EBM, al contrario, produce in uscita un risultato completo, determinando ad ogni simulazione l'ammontare di ogni componente protagonista del cambiamento demografico.

A nostro avviso questa differenza in termini di output è da considerarsi già un primo risultato: la mancanza di dati di flusso nel metodo SME influisce sul calcolo di indicatori demografici di grande importanza come, ad esempio, i tassi di mortalità e di natalità. Per la ragione suddetta una comparazione completa dei risultati forniti dai due metodi non può essere effettuata. Circoscriveremo pertanto la nostra analisi di confronto soltanto all'evoluzione della popolazione totale e della sua struttura per età.

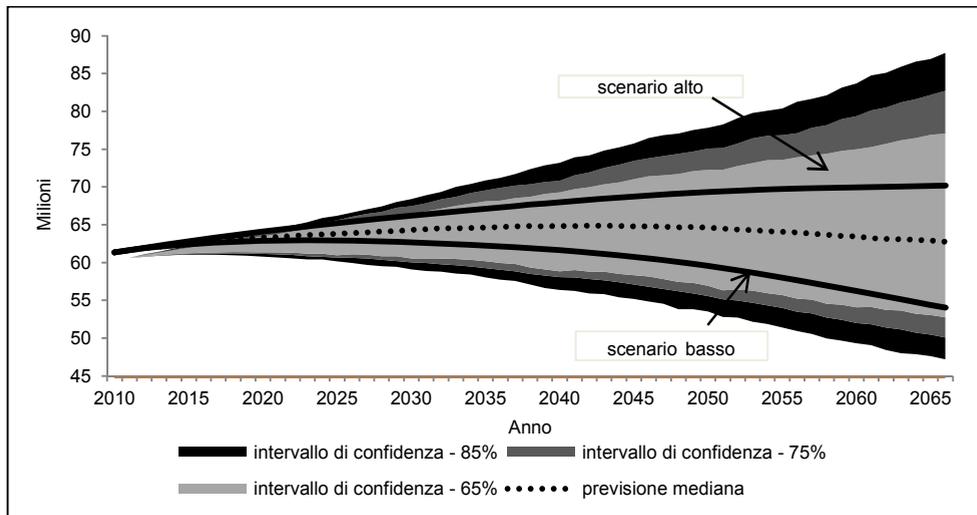
Tabella 5 - Previsione deterministica Istat e valori mediani delle previsioni stocastiche della popolazione totale condotte con metodi SME ed EBM (per valori diversi del parametro q)

ANNO	Previsione deterministica (scenario centrale)	Scaled model of error	Expert-based method (q=0.90)	Expert-based method (q=0.80)	Expert-based method (q=0.70)
2012	60.916.192	60.886.589	60.942.431	60.942.735	60.942.311
2020	62.497.034	62.290.647	62.883.995	62.892.989	62.878.771
2030	63.482.851	63.302.297	64.299.265	64.352.058	64.354.279
2040	63.889.453	63.846.000	64.951.855	65.145.122	65.193.374
2050	63.546.405	63.636.822	64.661.195	65.090.457	65.335.533
2060	62.169.504	62.468.252	63.294.853	64.082.011	64.891.271

Nella Tabella 5 sono riportati i valori mediani della popolazione totale prevista nel periodo 2012-2065 secondo quattro distinte previsioni stocastiche: una in base al metodo SME e tre in base al metodo EBM. Le ultime tre, in particolare, che si differenziano in base al valore prescelto del parametro q , ci permettono di valutare la risposta di variabilità degli indicatori demografici di sintesi, qui trattati come variabili casuali. In tabella riportiamo anche i risultati delle previsioni Istat nello scenario centrale. Come si può osservare, il metodo SME riproduce più fedelmente i valori della previsione deterministica, mentre per il metodo EBM più ci si allontana dall'anno base tanto più la distanza aumenta, soprattutto quando il livello di precisione delle opinioni degli esperti è ritenuto più basso, cioè quando

il valore di q tende a zero.

Figura 3 - Popolazione totale: previsioni mediane e intervalli di confidenza a 85%, 75% e 65% da *Scaled model of error* e previsioni deterministiche in base agli scenari alto e basso (in milioni di persone)



Le Figure 3-6 mostrano l'evoluzione della popolazione totale in termini di previsione mediana e di intervalli di confidenza. A scopo di confronto sono rappresentati anche i trend risultanti dagli scenari alto e basso delle previsioni Istat. Si può osservare come con EBM si ottengano previsioni con minore livello di incertezza, soprattutto quando q è uguale a 0,9.

Figura 4 - Popolazione totale: previsioni mediane e intervalli di confidenza a 85%, 75% e 65% da *Expert based method* ($q=0,90$), e previsioni deterministiche in base agli scenari alto e basso (in milioni di persone)

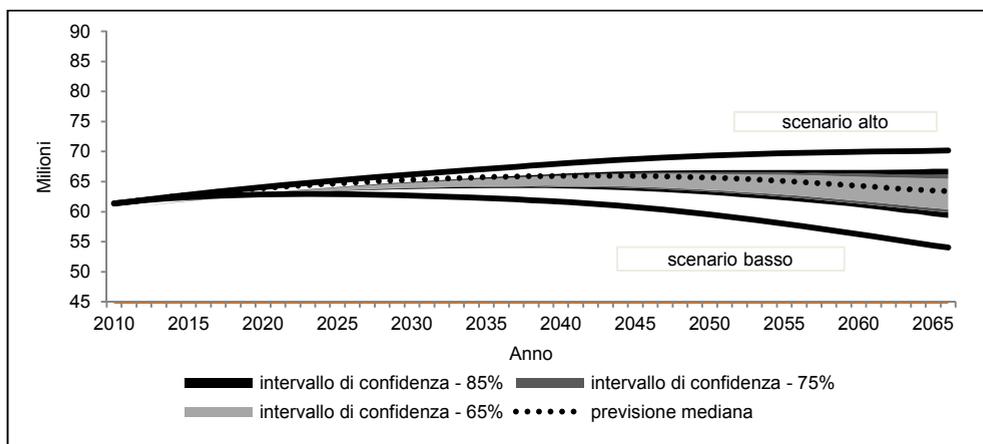


Figura 5 - Popolazione totale: previsioni mediane e intervalli di confidenza a 85%, 75% e 65% da *Expert based method* ($q=0,80$), e previsioni deterministiche in base agli scenari alto e basso (in milioni di persone)

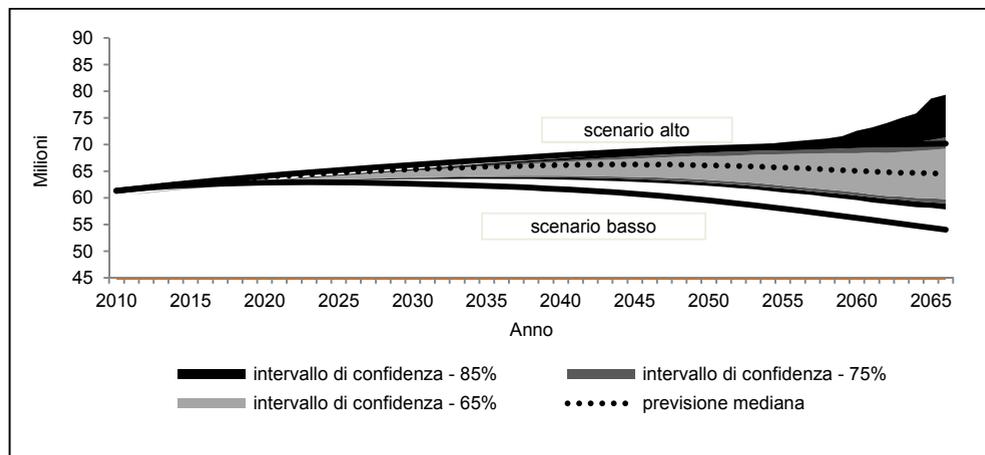
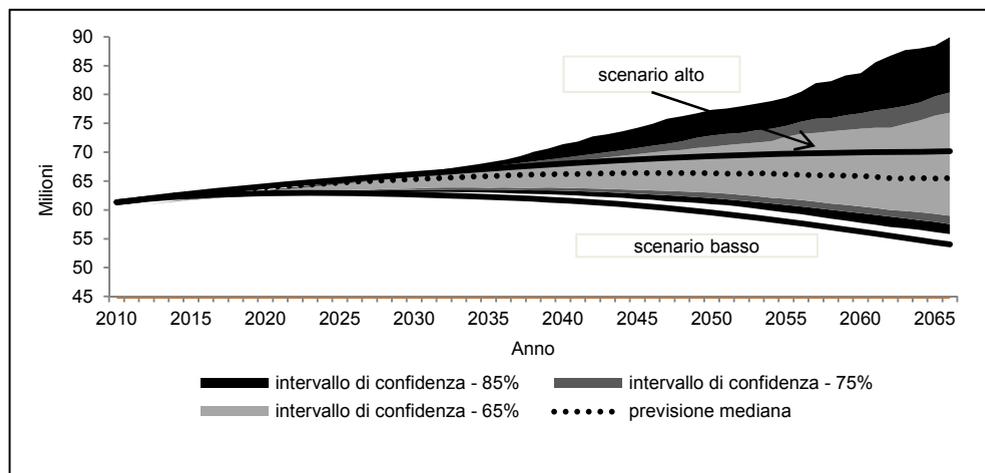


Figura 6 - Popolazione totale: previsioni mediane e intervalli di confidenza a 85%, 75% e 65% da *Expert based method* ($q=0,70$), e previsioni deterministiche in base agli scenari alto e basso (in milioni di persone)



Tuttavia, occorre anche sottolineare come EBM risulti particolarmente sensibile al livello di accuratezza (valore q) che si assegna al parere degli esperti. Al diminuire di q si nota, infatti, un rapido aumento dell'incertezza, che diviene molto accentuata negli ultimi anni di previsione, in particolar modo nel limite superiore dell'intervallo di confidenza. A sua volta, dal metodo SME si ottengono intervalli di confidenza costantemente più ampi di quello che scaturisce dalle varianti deterministiche Istat.

Nell'ottica di un *projection-maker* questo risultato rappresenta un primo segnale di avvertimento. Il nostro obiettivo primario è l'individuazione di un metodo consistente in grado di misurare l'incertezza associata alle previsioni. Vediamo, tuttavia, come l'uso di

metodi alternativi oppure l'uso dello stesso metodo in modalità diverse, determina oscillazioni dell'incertezza molto ampie. Il nostro esempio, intenzionalmente paradossale, ci porta a considerare che anche nel mondo della previsione stocastica sono necessari dei raffinamenti ulteriori prima di pervenire a un risultato ben circostanziato.

Figura 7 - Popolazione di 0-14 anni di età nel 2011-2065: intervalli di confidenza a 85%, 75% e 65% (in milioni) da Scaled model of error

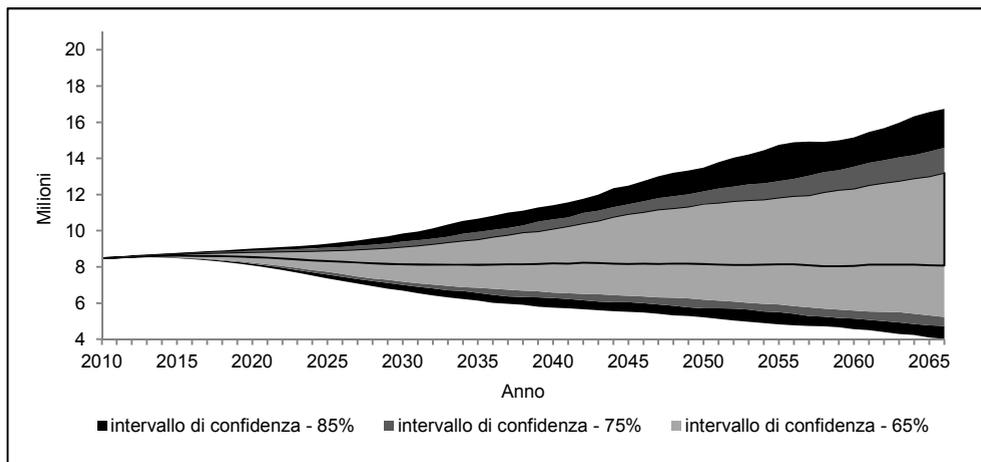
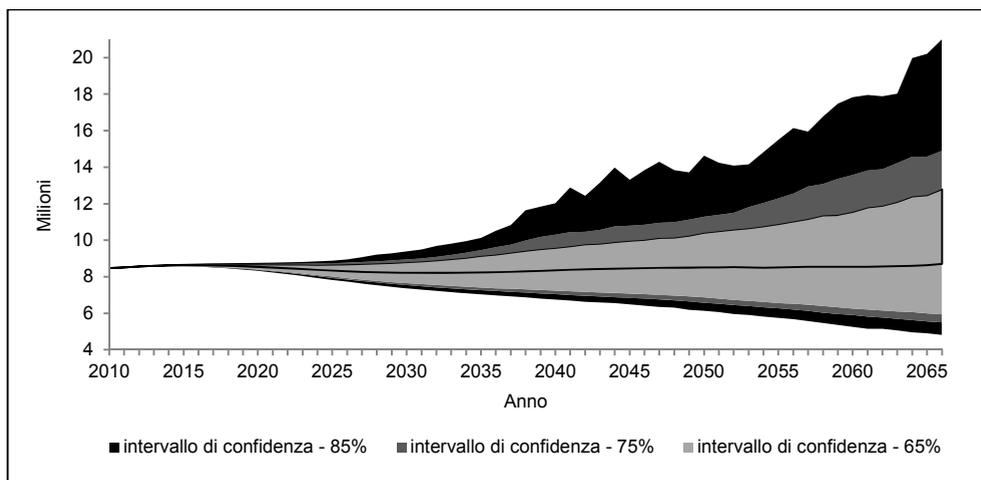


Figura 8 - Popolazione di 0-14 anni di età nel 2011-2065: intervalli di confidenza a 85%, 75% e 65% (in milioni) da Expert based method (q=0,70)



Nei passi successivi le analisi riguarderanno soltanto il confronto tra le previsioni sotto il modello SME e quelle condotte col modello EBM con $q=0,7$ (di seguito, EBM07). La nostra intenzione è quella di avere livelli comparabili di incertezza, che è la dimensione sulla quale si concentra il nostro interesse. Da questo punto di vista, queste due alternative

ci paiono quelle che producono risultati maggiormente interessanti e realistici.

Le Figure 7-12 mostrano l'evoluzione della popolazione per grandi classi di età. I metodi SME e EBM07 portano a previsioni con andamento simile nel lungo periodo. Questo risultato dipende in parte dalla struttura per età della popolazione nell'anno base e dalle ipotesi sui flussi demografici che risultano omogenee per le due previsioni.

Concentrando l'attenzione sulla variabilità delle due previsioni, sorprende come entrambe presentino un elevato livello di accuratezza nel periodo iniziale, in particolare per EBM07 dove almeno fino al 2020 l'incertezza è praticamente assente. Nel medio e lungo termine EBM07 mostra una variabilità inferiore rispetto a quella del metodo SME. Per esempio, esaminando l'intervallo di confidenza al 65% nel 2065, con il metodo SME si ha una banda di incertezza pari a 8 milioni di persone per la fascia di età 0-14 anni, 15 milioni di persone per la classe 15-64 anni, e 8,6 milioni per la fascia di età 65 anni e più. I corrispondenti valori secondo EBM07 sono invece più contenuti e rispettivamente pari a 6,8, 8 e 4,8 milioni di persone.

Figura 9 - Popolazione di 15-64 anni di età nel 2011-2065: intervalli di confidenza a 85%, 75% e 65% (in milioni) da Scaled model of error

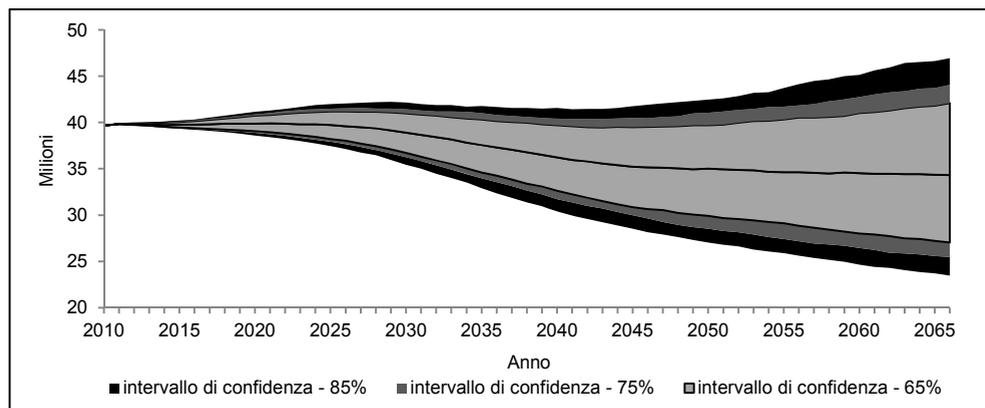


Figura 10 - Popolazione di 15-64 anni di età nel 2011-2065: intervalli di confidenza a 85%, 75% e 65% (in milioni) da Expert based method (q=0,70)

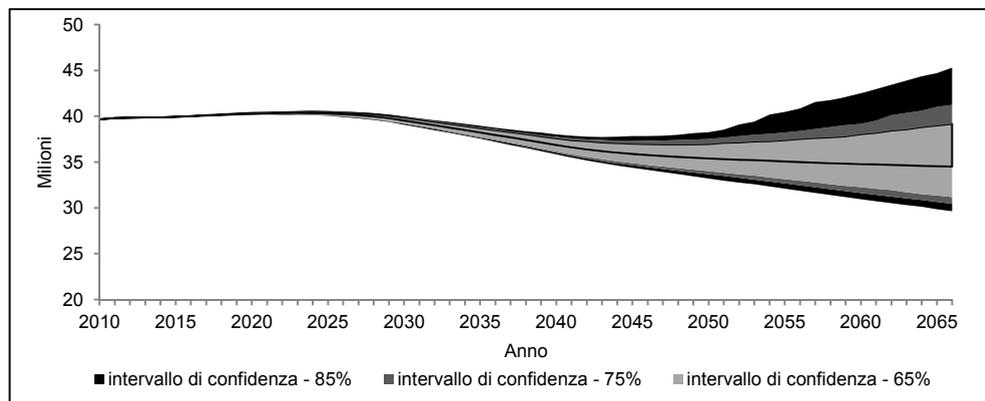


Figura 11 - Popolazione di età 65 anni e più nel 2011-2065: intervalli di confidenza a 85%, 75% e 65% (in milioni) da Scaled model of error

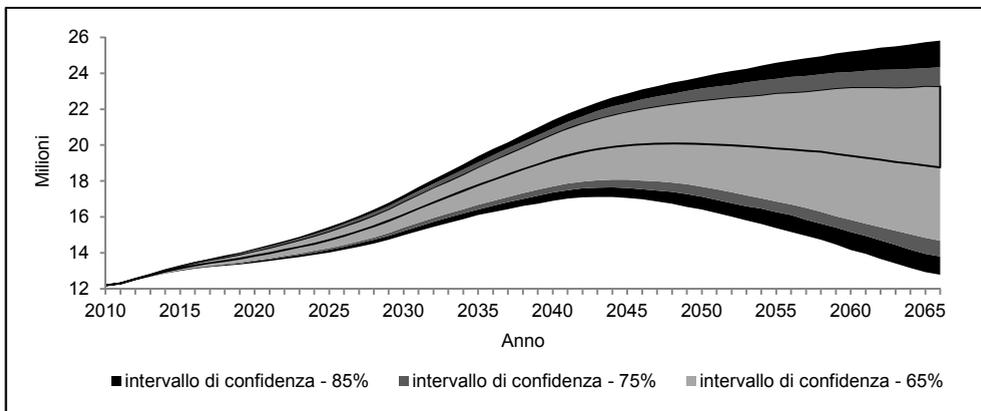
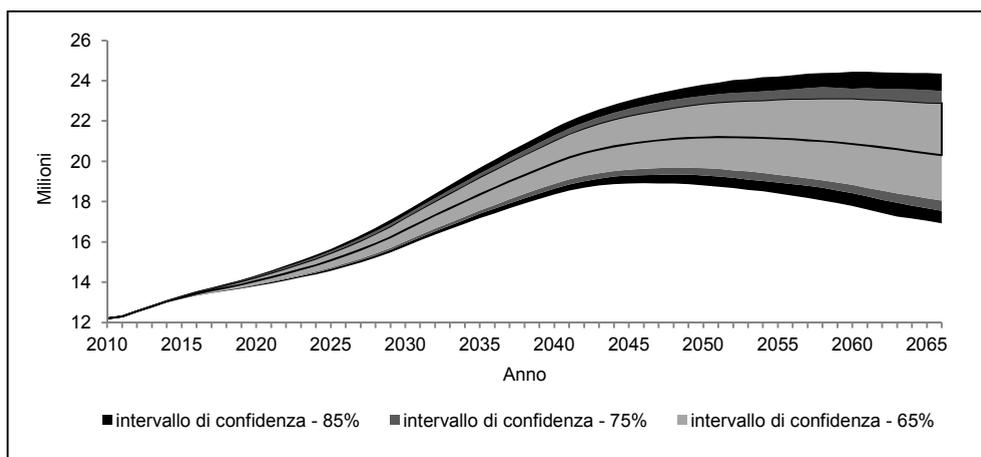


Figura 12 - Popolazione di età 65 anni e più nel 2011-2065: intervalli di confidenza a 85%, 75% e 65% (in milioni) da Expert based method (q=0,70)



Con qualche eccezione, come nel caso della classe di età 0-14 anni, la minore variabilità del metodo EBM07 si deve alle modalità con le quali si determinano varianze e covarianze degli indicatori demografici (Billari, Graziani e Melilli, 2010). Si è detto prima che SME stima la varianza dalle risultanze empiriche delle passate previsioni. Le stime sono così ottenute operando direttamente sui tassi specifici per età, aggiungendo di anno in anno degli shock alle varianze e alla correlazione tra classe di età e anno di previsione. Questo meccanismo genera un effetto moltiplicatore sulla varianza, perché di anno in anno si aggiunge, come è logico che sia, una quota sempre crescente di incertezza.

Nel modello EBM, invece, il primo passo è quello di randomizzare gli indicatori sintetici (tasso di fecondità totale, speranza di vita ecc..) sulla base dei pareri degli esperti, mentre i tassi specifici per età vengono derivati in una fase secondaria, implementando modelli demografici ritenuti idonei.

Un'altra causa rilevante alla base della differente incertezza prodotta dai due metodi si deve al fatto che le misure di variabilità sono attinte da fonti diverse. Nel metodo EBM, che sfrutta il parere degli esperti, si ricorre alla variabilità tratteggiata dalla distanza tra uno scenario centrale e uno degli scenari alternativi. Invece, nel metodo SME le stime della varianza sono prese a prestito da quelle già incluse nel software PEP, corrispondenti a quelle utilizzate nel progetto UPE e costruite studiando l'errore delle passate previsioni di una molteplicità di Paesi europei.

Un interessante esercizio di comparazione tra i vari metodi è quello di valutare l'incertezza delle singole previsioni stocastiche per classi di età in termini relativi, prescindendo dalla dimensione assoluta della popolazione di riferimento. Ad esempio, per misurare l'incertezza relativa delle tre macro-componenti della popolazione – giovane (0-14 anni), adulta (15-64 anni) e anziana (65 anni e più) – prendiamo in considerazione il seguente indicatore:

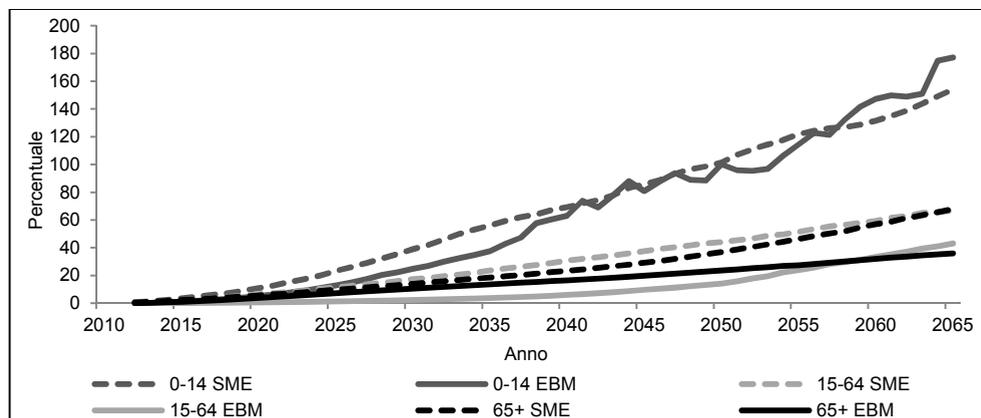
$$I[j,t] = 100 \times [U85(j,t) - L85(j,t)] / M(j,t),$$

dove: $M(j,t)$ è il valore mediano previsto all'anno t per la popolazione di età j ; $U85(j,t)$ e $L85(j,t)$ sono rispettivamente i limiti superiore e inferiore dell'intervallo di confidenza all'85% della stessa previsione.

In altre parole $I[j,t]$ è un indicatore standardizzato che, misurando l'ampiezza della banda di variabilità in termini relativi, consente la comparabilità tra aggregati della popolazione di diversa quantità assoluta.

La Figura 13 mostra l'incertezza relativa prodotta dai metodi SME e EBM07 (al livello di confidenza dell'85%) per la popolazione suddivisa in grandi classi di età. Due sono in questo caso gli aspetti su cui soffermarsi. In primo luogo, come era da immaginare la popolazione in età 0-14 anni è caratterizzata da un'incertezza relativa maggiore. Tale risultato viene confermato sia dall'uno che dall'altro modello stocastico. Invece, il confronto tra le classi di età adulte e anziane, nei due modelli, non consente di comprendere appieno quale sia la classe affetta da maggiore variabilità. Esiste, infatti, un fattore di scala, collegato ai due modelli stocastici, che fa sì che tanto la previsione della popolazione anziana quanto quella della popolazione adulta risulti più incerta, ovvero meno precisa, nel modello SME.

Figura 13 - Incertezza relativa al livello di confidenza dell'85% della popolazione per grandi classi di età e per tipo di previsione stocastica



Passando alle previsioni stocastiche dei flussi demografici prodotte con EBM07 (output non disponibile col metodo SME) si evince come la stima delle nascite (Figura 14) sia affetta da incertezza maggiore rispetto alla stima dei decessi (Figura 15). Per quanto riguarda la precisione delle stime sui flussi migratori (Figure 16-17) non ci sono invece differenze evidenti tra la previsione dei flussi in ingresso e quella dei flussi in uscita; ambedue le grandezze presentano un alto livello di incertezza nel lungo periodo, che è solo lievemente superiore per quella degli immigrati.

Figura 14 - Previsione stocastica delle nascite con Expert based method ($q=0.70$), per intervalli di confidenza a 85%, 75% e 65% (in migliaia)

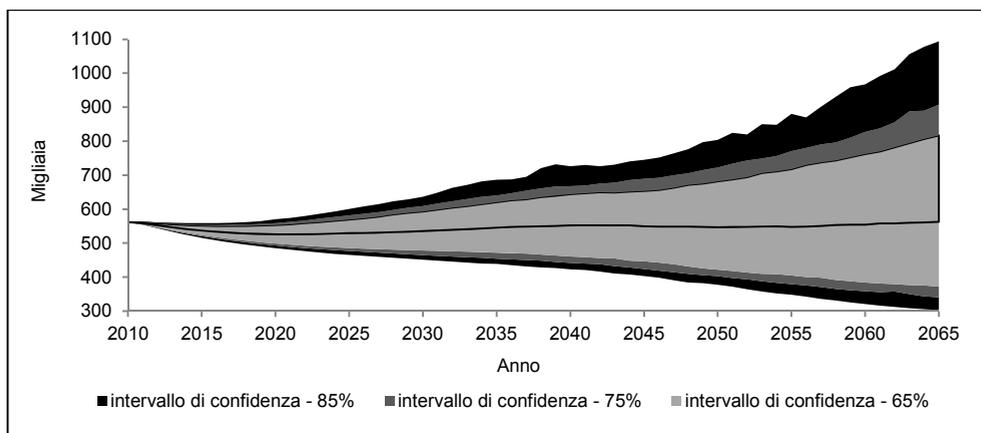
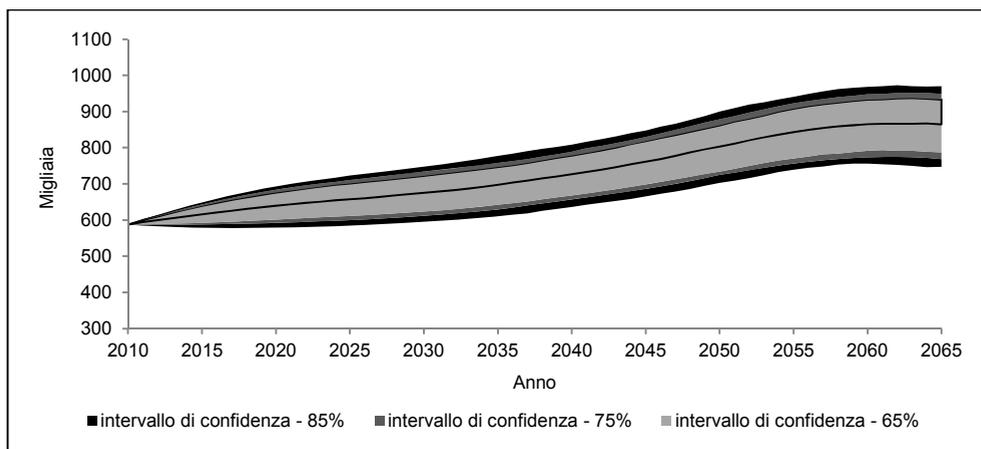


Figura 15 - Previsione stocastica dei decessi con Expert based method ($q=0.70$), per intervalli di confidenza a 85%, 75% e 65% (in migliaia)



A sintesi dei risultati fin qui ottenuti vale la pena considerare la figura 18, che mostra il confronto tra le piramidi stocastiche della popolazione al 2065, rispettivamente ottenute con i modelli probabilistici SME ed EBM07. Dalla figura, che contiene tanto il valore mediano di

previsione quanto i corrispondenti intervalli di confidenza a vari livelli di incertezza, si osserva l'impatto provocato dalle diverse componenti protagoniste della dinamica demografica in termini di precisione delle previsioni. Senza molta sorpresa, l'incertezza espressa dalla mortalità si presenta molto più bassa di quella riconducibile alla fecondità. In virtù del processo di invecchiamento della popolazione, infatti, la maggior parte dei decessi interesserà individui in età adulta e, soprattutto, senile, ovvero persone almeno ultracinquantenni già in vita nell'anno di inizio del nostro esercizio previsionale. Sul versante opposto, sussistono pochi dubbi sul ruolo di profonda incertezza riconducibile alle future dinamiche di fecondità. L'estesa ampiezza di banda che si riscontra alla base della piramide e fino ai 25 anni di età, peraltro, va anche parzialmente ricondotta al fatto che vi sono coinvolte generazioni nate da genitori essi stessi non ancora venuti al mondo all'inizio delle previsioni. Nella figura è ben visibile come anche parte dell'incertezza riversata sulla struttura per età della popolazione al 2065 sia da attribuire al ruolo delle migrazioni, in particolar modo nelle età adulte e, in concomitanza con la fecondità, anche tra quelle giovanili.

Figura 16 - Previsione stocastica del numero di immigrati dall'estero con *Expert based method* ($q=0,70$), per intervalli di confidenza a 85%, 75% e 65% (in migliaia)

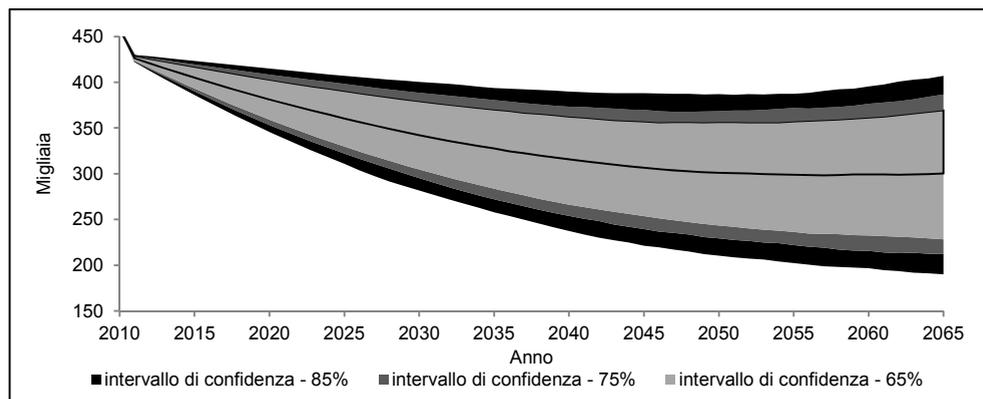
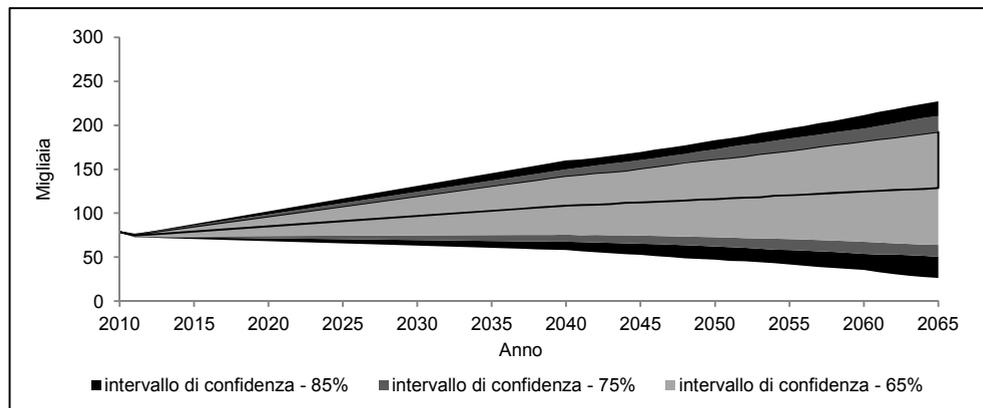
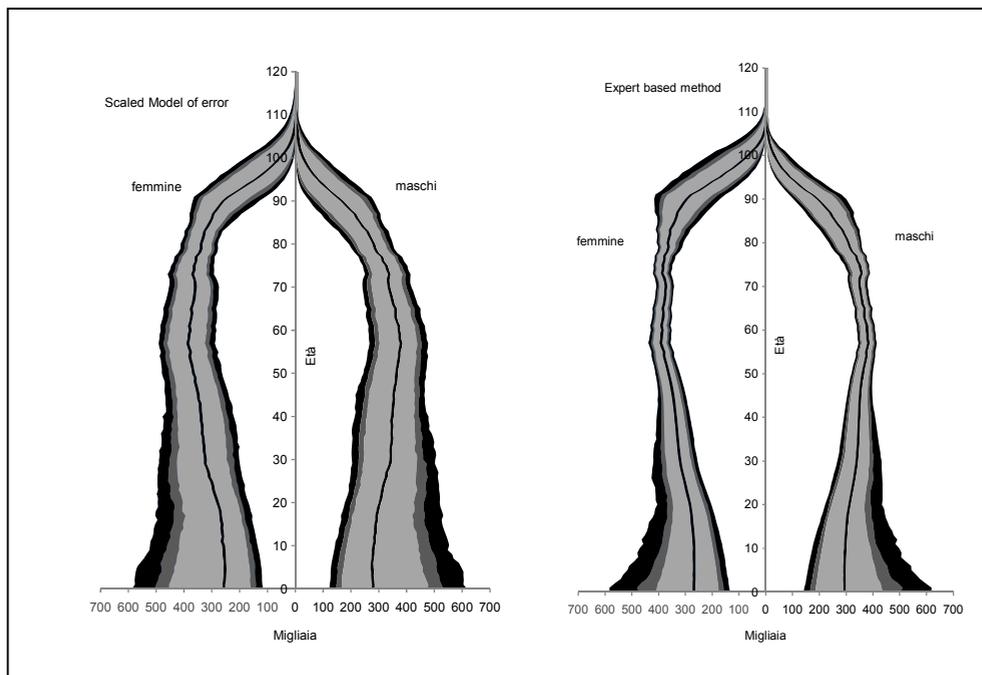


Figura 17 - Previsione stocastica del numero di emigrati verso l'estero con *Expert based method* ($q=0,70$), per intervalli di confidenza a 85%, 75% e 65% (in migliaia)



Confrontando, infine, la precisione offerta dai due metodi probabilistici, si evidenzia un comportamento pressoché uguale nelle prime classi di età, legato all'incerta evoluzione del comportamento riproduttivo. Invece, nelle età intermedie, da 25 e fino a 80 anni di età, risulta molto più precisa la previsione condotta con EBM07. Infine, la composizione per età delle generazioni superstiti di almeno 80 anni di età è analoga nei due modelli probabilistici.

Figura 18 - Piramide stocastica della popolazione al 2065: previsione mediana e intervalli di confidenza a 85%, 75% e 65% (in migliaia di persone) da Scaled model of error e Expert based method ($q=0,70$)



5. Conclusioni

In questo studio descriviamo alcuni risultati provenienti dal tentativo di produrre previsioni demografiche stocastiche per l'Italia. Tenendo presente la prevalente esperienza istituzionale nella produzione di previsioni deterministiche, questa attività risulta necessaria al fine di delineare i piani futuri dell'Istat in questo settore.

Realizzare previsioni demografiche con approccio probabilistico comporta l'utilizzo di una grande mole di dati e la specificazione di una molteplicità di opzioni a supporto delle decisioni. Inoltre, poiché vanno affrontate scelte ad ogni passo del processo di costruzione delle ipotesi, l'elemento soggettivo intrinseco all'attività di un *projection-maker* istituzionale, persiste sostanzialmente anche nell'approccio probabilistico, esattamente come, e forse anche in misura maggiore, rispetto all'approccio deterministico. Va inoltre

sottolineato che, nonostante la disponibilità di hardware e software con performance molto più elevata rispetto al passato, l'elaborazione dei dati necessari al raggiungimento di un numero sufficiente di simulazioni (nell'ordine di migliaia) può occupare un periodo di tempo molto esteso.

Queste prime sintetiche conclusioni emergono dopo aver simulato delle previsioni stocastiche su base nazionale, ma elementi di criticità emergono in tutta la loro evidenza soprattutto quando si porta l'interesse sul piano regionale. A questo proposito, va ricordato che gli Istituti Nazionali di Statistica spesso rispondono della preparazione di previsioni su base regionale, esattamente come Eurostat è responsabile della preparazione di previsioni per ogni Stato membro. Nonostante non sia stato oggetto di specifico approfondimento nel presente studio, riteniamo molto importante per le nostre responsabilità istituzionali sollecitare ulteriori sviluppi metodologici dell'approccio stocastico in una prospettiva multi-regionale. Da questo punto di vista la questione metodologica più impegnativa è, secondo il nostro punto di vista, la trattazione delle migrazioni interregionali nell'ottica stocastica.

Data la natura sperimentale del lavoro, non è stato scelto un metodo stocastico a priori, ma abbiamo deciso di utilizzare un approccio comparativo tra due alternative: il modello *Scaled Model of Error* (SME), uno dei più conosciuti e utilizzati per la produzione di previsioni stocastiche, e il modello *Expert-based* (EBM), sviluppato dalla Università Bocconi.

Concentrando l'attenzione sui valori mediani delle due previsioni stocastiche, i due metodi forniscono risultati coerenti tra di loro e con lo scenario centrale delle previsioni ufficiali. Questo risultato è in gran parte originato dall'uso degli stessi dati di input, che provengono, per l'appunto, dalle ultime previsioni deterministiche (anno base 2011) dell'Istat. Ciononostante, ci pare un risultato non irrilevante il fatto che le previsioni probabilistiche possano fornire un utile elemento di conoscenza sull'accuratezza delle previsioni deterministiche medesime.

Abbiamo quindi concentrato l'analisi sull'incertezza delle previsioni demografiche, che è l'obiettivo principale quando si introduce l'approccio stocastico. Da questo punto di vista il metodo EBM risulta migliore, poiché genera livelli di incertezza più bassi rispetto al metodo SME. D'altra parte, l'EBM risulta molto sensibile, specialmente nel lungo termine, al giudizio degli esperti sulla precisione delle elicitazioni da essi stessi fornite.

I risultati esposti confermano, inoltre, quanto già rintracciato in studi precedenti: la valutazione del livello di incertezza è chiaramente la questione cruciale per i demografi, ma all'aumentare delle opzioni disponibili, diviene sempre più difficile individuare la scelta più efficace. Sotto questo profilo l'obiettivo non dovrebbe essere solo quello di ridurre la variabilità delle stime, per quanto importante esso sia. Alcune delle simulazioni che abbiamo intenzionalmente esposto, per esempio, mostrano che l'incertezza può essere molto bassa o addirittura quasi del tutto assente, in particolare nei primi anni di previsione. In altri termini, un approccio nato con lo spirito di prendere sul serio in considerazione la questione dell'incertezza nelle previsioni demografiche può giungere al paradosso di produrre previsioni fin troppo precise e quindi irrealistiche.

La domanda al quale siamo tenuti a rispondere a questo punto è la seguente: è opportuno, dal punto di vista di un Istituto di Statistica, muoversi verso l'approccio probabilistico sostituendo quello deterministico, che rimane di gran lunga il più utilizzato e consolidato?

A nostro parere ci sono diversi punti a favore di un approccio probabilistico. Nessuno può pretendere di possedere elementi di certezza circa il futuro, i demografi sanno tuttavia che alcuni sviluppi della popolazione sono più probabili di altri. La distribuzione di probabilità ci aiuta a capire quale di essi sia più probabile. Il grosso vantaggio per gli utenti si configura come la possibilità di essere informati circa la qualità complessiva delle previsioni, con la disponibilità non solo della misura complessiva dell'errore, ma anche di come questo si suddivida tra le componenti strutturali della popolazione (sesso, età, cittadinanza).

Tuttavia, anche nell'approccio probabilistico ci sono elementi di criticità che è opportuno tenere presente. Per quanto detto sopra, le criticità principali sono: la lunghezza dei tempi di elaborazione in relazione agli strumenti informatici disponibili, la permanenza di grossi elementi di arbitrarietà nel processo decisionale, la necessità di approfondimenti metodologici per lo sviluppo di previsioni sub-nazionali, la valutazione e il controllo dell'incertezza. Un'altra fondamentale questione riguarda la scelta del modello stocastico più idoneo. Nel caso dei metodi stocastici qui analizzati, per esempio, un limite evidente è che i parametri di input, provenienti dalle previsioni deterministiche, sono anch'essi per loro natura incerti. Pertanto, una raccomandazione utile per noi è quella di essere molto cauti nel valutare l'incertezza di questi parametri fondamentali in relazione all'uso che se ne deve poi fare nel modello stocastico selezionato (Keilman, 2008).

Nel caso del metodo EBM, in particolare, un'ulteriore criticità deriva dal processo di selezione degli esperti. Nei casi concreti, diversamente dal presente esercizio sperimentale dove noi stessi ci siamo posti a esperti sfruttando le previsioni deterministiche delle ultime previsioni ufficiali, gli esperti sono individuati nell'ambiente accademico o in quello degli *stakeholders* istituzionali, ossia tra coloro che sviluppano la basi teoriche dei modelli previsionali e tra coloro che si avvalgono dei risultati delle previsioni per la pianificazione di successive strategie istituzionali (nella sanità, nella previdenza, nell'istruzione ecc.). In generale, gli esperti provenienti dall'accademia tendono a sovrastimare le tendenze future, mentre agli Istituti di Statistica e ai loro *stakeholders* è notoriamente riconosciuto un atteggiamento più cauto nel delineare le ipotesi (Shaw, 2008). L'esempio classico è quello che riguarda le ipotesi sulla speranza di vita, rispetto alle quali la visione degli esperti è regolarmente molto più ottimista di quella degli uffici statistici. Quest'ultimi, infatti, per via del ruolo istituzionale di produttori, sono inclini a considerare con più attenzione le implicazioni di un aumento della speranza di vita in relazione alla sostenibilità del sistema Paese (per esempio in materia di spesa previdenziale e di sicurezza sociale). Il nostro punto di vista è che vada ricercato un ragionevole compromesso: considerando che l'ultima parola sulle ipotesi da adottare è comunque pronunciata dagli Istituti di Statistica, il ruolo degli esperti dovrebbe essere rigorosamente di consulenza e, allo stesso tempo, gli Istituti di Statistica non dovrebbero necessariamente ricercare il consenso delle loro opinioni.

Ringraziamenti

Si ringrazia la Dott.ssa Rebecca Graziani dell'Università Bocconi di Milano per aver fornito informazioni e assistenza sull'utilizzo del software PEP.

Bibliografia

- Abel G.J., J. Bijak and J. Raymer. 2010. *A comparison of official population projections with Bayesian time series forecasts for England and Wales*. Population Trends. 141: 95-114.
- Alho J.M. and B.D. Spencer. 1997. *The practical specification of the expected error of population forecasts*. Journal of Official Statistics. 13(3): 203-225.
- Alho, J. M. and T. Nikander. 2004. *Uncertain population of Europe—summary results from a stochastic forecast*. http://www.stat.fi/tup/euue/rp_reports_and_pub.html.
- Alho, J.M. and B.D. Spencer. 2005. *Statistical demography and forecasting*. New York: Springer.
- Alders M., N. Keilman and H. Cruijsen. 2007. *Assumptions for long-term stochastic population forecasts in 18 European countries*. European Journal of Population. 23(1): 33-69.
- Bertino S., E. Sonnino and G. Lanzieri. 2010. *Combining deterministic and stochastic population projections*. Eurostat, Work session on demographic projections, Lisbon, 28-30 April 2010, Methodologies and Working papers, European Commission.
- Billari, F.C., R. Graziani and E. Melilli. 2010. *Stochastic population forecasts based on conditional expert opinions*. Working Paper 33. Carlo F. Dondena Centre for Research on Social Dynamics, Bocconi University, Milan.
- Booth H. 2006. *Demographic forecasting: 1980 to 2005 in review*. International Journal of Forecasting. 22: 547–581.
- CBS. 2011. *Key figures of the population forecasts 2010-2060*. Statline, Centraal Bureau voor der statistiek, <http://statline.cbs.nl/statweb/>.
- Cliquet R. 1993. *The Future of Europe's Population. A Scenario Approach*. Population Studies. 26. Council of Europe Press.
- Eurostat. 2011. *The greying of the baby boomers - A century-long view of ageing in European populations*. Statistics in focus, n. 23/2011.
- Graziani, R. and N. Keilman. 2011. *The sensitivity of the Scaled Model of Error with respect to the choice of the correlation parameters: A simulation study*. Working Paper 37. Carlo F. Dondena Centre for Research on Social Dynamics, Bocconi University, Milan.
- Heilig G.K., T. Buettner, N. Li, P. Gerland, F. Pelletier, L. Alkema, J. Chuni, H. Ševčíková, A.E. Rafter. 2010. *A probabilistic version of the United Nations world population prospects: methodological improvements by using bayesian fertility and mortality projections*. Eurostat, Work session on demographic projections, Lisbon, 28-30 April 2010, Methodologies and Working papers, European Commission.
- Istat. 2011. *Il futuro demografico del paese - Previsioni regionali della popolazione residente al 2065*. Statistiche Report, www.istat.it, 28 dec 2011. Rome.
- Keilman, N. 2008. *Using deterministic and probabilistic population forecasts*. Interdisciplinary Communications, University of Oslo, Department of Economics.
- Keilman, N., D.Q. Pham and A. Hetland. 2002. *Why population forecasts should be probabilistic - illustrated by the case of Norway*. Demographic Research. 6(15): 409-454.

- Keilman, N. and D.Q. Pham. 2004. *Empirical errors and predicted errors in fertility, mortality and migration forecasts in the European Economic Area*. Discussion Paper 386 August 2004, Statistics Norway.
- Lee R. 1998. *Probabilistic Approaches to Population Forecasting*. Population and Development Review 24. Issue Supplement: Frontiers of Population Forecasting: 156-190.
- Lee R.D. and L.R. Carter. 1992. *Modeling and forecasting U.S. Mortality*. Journal of the American Statistical Association, September. 87/419.
- Lutz W., W.C. Sanderson and S. Scherbov. 1998. *Expert-Based Probabilistic Population Projections*. Population and Development Review. 24: 139-155.
- Rogers A. and L. Castro. 1981. *Model migration schedules*. International Institute for Applied System Analysis. Laxenberg, Austria. RR-8 1-30.
- Rogers, A. 1985. *Regional Population Projection Models*. Beverly Hills, CA: Sage.
- Rowan S. and Wright E. 2010. *Developing stochastic population forecasts for the United Kingdom: Progress report and plans for future work*. Eurostat, Work session on demographic projections, Lisbon, 28-30 April 2010, Methodologies and Working papers, European Commission.
- Shaw C. 2008. *The National Population Projections Expert Advisory Group: results from a questionnaire about future trends in fertility, mortality and migration*. Population trends n.134, Winter 2008, Office for national statistics.
- Schmertmann C.P. 2003. *A system of model fertility schedules with graphically intuitive parameters*. Demographic Research. 9(5): 81-110.
- Tuljapurkar S., R.D. Lee and Q. Li. 2004. *Random scenario forecast versus stochastic forecasts*. International Statistical Review. 72: 185-199.
- United Nations. 2011. *World Population Prospects: The 2010 Revision*". United Nations Publications, New York (USA).