



POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Tesi di Laurea Magistrale

**Partenariato pubblico-privato:
algoritmi evolutivi come soluzione
alle asimmetrie informative**

Relatori

prof. Giovanni Squillero
prof. Simone Pellegrino

Studente

Massimo REBUGLIO
matricola: 256979

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

Sommario

In un contesto di libera impresa la creazione di ospedali, scuole, strutture sportive e residenziali pubbliche, si serve delle competenze —ed eventualmente del capitale— del settore privato. Al tradizionale appalto, in cui l'amministrazione pubblica paga terzi per edificare e mantenere delle opere, si affiancano modelli che contemplan maggior protagonismo per la parte privata. In questo testo si prende in analisi il PPP, partenariato pubblico privato, che racchiude varie forme contrattuali di questo genere. La struttura-tipo di un PPP è quella detta "costruzione + conduzione", e si fonda sul concetto di *esternalità positiva*, ovvero sull'assunto che chi edifica un'opera tenderà a farla a regola d'arte sapendo che dovrà poi gestirla e mantenerla per un certo periodo. In letteratura sono presenti definizioni algebriche consolidate del concetto di esternalità, che contemplan un *costo di effort*, ovvero l'investimento di un operatore in una certa azione, e, appunto, delle *esternalità*, che quantificano il risvolto positivo o negativo sulle azioni successive dell'aver lavorato per bene piuttosto che lesinato sui costi.

Al netto della teoria, il PPP si è spesso rivelato un modello disastroso per la finanza pubblica: quella che doveva risultare un'opzione da intraprendere secondo convenienza, si è rivelata l'unica percorribile per enti locali e nazionali con alti livelli di indebitamento, che possono "mascherare" un debito per investimenti con un canone di gestione, distribuendolo nei decenni; il tutto a tassi d'interesse ben oltre quelli di mercato. A questo si aggiungono motivi politici e di comunicazione, che portano l'opinione pubblica —ma anche uno sprovveduto decisore— ad accogliere meglio un'opera se "a pagare è qualcun altro", per non parlare dei fenomeni corruttivi.

In questo testo si utilizza la tecnica degli *algoritmi evolutivi*, che emulano per via algoritmica la dinamica di selezione della specie, per valutare una proposta di partenariato nella sua interezza. I rapporti di esternalità tra decine di task vengono simulati in funzione delle varie azioni che l'amministrazione può intraprendere, sia in fase di redazione del capitolato che in corso d'opera, per massimizzarne il valore sociale. Il modello così definito ha una duplice funzione: quella ovvia, di svolgimento della simulazione, e quella meno ovvia, di definizione di un input coerente: l'algoritmo impone di riflettere a mente fredda sui dati richiesti per farlo funzionare a dovere, informazioni che, a prescindere dallo strumento di calcolo, possono far la differenza tra un progetto riuscito ed una perdita economica.

Il modello viene testato su vari "casi banali", la cui efficacia è misurabile con il buon senso, dopodiché applicato ad un caso concreto del settore autostradale, ben rappresentativo delle varie problematiche di un generico PPP.

Note e ringraziamenti

A conclusione di un percorso variegato, tra rappresentanza studentesca, lezioni, avvicinamento alla ricerca; scrivo un testo variegato nei contenuti, con note d'economia e d'informatica. Ringrazio il prof. Pellegrino dell'Università degli Studi di Torino per avermi accompagnato in un progetto ambizioso, fornendo indispensabile supporto tecnico e scientifico; Renzo, Biscant, Cangialosi e gli amici della Logistica del Politecnico per l'apertura a mostrare *come vanno le cose* in una grande Amministrazione italiana, per davvero; il Collettivo Alter.POLIS per avermi consentito di svolgere un'attività di rappresentanza di altissimo livello, la cui esperienza amministrativa ha fornito numerosi spunti per questa tesi. Infine, grazie alla famiglia che mi ha cresciuto nella ricchezza degli stimoli, Laura, Emanuele, Leonardo, Ada e Franco; ed a Chiara, con cui ne stiamo formando una nostra.

Indice

1	Inquadramento del problema e stato dell'arte	5
1.1	Modelli di analisi del rischio	6
1.1.1	Fattori esogeni ed endogeni	7
1.1.2	Monitoraggio	7
1.2	Public sector comparator	8
1.3	Ottimizzazione ed algoritmi evolutivi	9
1.3.1	Framework DEAP	9
1.4	Elementi di statistica	9
1.4.1	Confronti tra campioni	9
1.4.2	Utilità, funzione utilità esponenziale	11
1.5	Asimmetria informativa	12
1.5.1	Selezione avversa	12
1.5.2	Azzardo morale	13
2	Approccio	15
2.1	Modello	16
2.1.1	Dati del problema	18
2.1.2	Genotipi	18
2.1.3	Obiettivi	19
2.2	Implementazione	21
2.2.1	Pacchetto DEAP-Conf	21
2.2.2	Algoritmo	25
3	Risultati	27
3.1	Casi di test	27
3.1.1	Gioco a due	28
3.2	Casi studio	30
3.2.1	Autostrada a99	30
4	Conclusioni	35
A	Dati e risultati delle simulazioni	37

Capitolo 1

Inquadramento del problema e stato dell'arte

Il successo del PPP si fonda sulla puntuale attribuzione dei rischi, in buona sostanza: chi sbaglia, paga. Ad esempio, in un'opera di costruzione, si dovrebbero far pagare alla parte pubblica i ritardi nell'ottenere le autorizzazioni necessarie, ed al costruttore quelli derivanti da imperizia nei lavori. La realtà è ben meno netta: qualora l'opera preveda centinaia di processi, i cui "buon andamenti" possono essere correlati, ed in presenza di fattori esogeni non imputabili a nessun attore, l'analisi dei rischi è tutt'altro che banale. Diventa complicato non solo attribuire un rischio, ma anche la sua stessa definizione.

Per quanto difficile, il processo è quantomai necessario. L'interesse a mitigare il rischio è peraltro asimmetrico, essendo le amministrazioni, di fronte alla legge o all'opinione pubblica, comunque responsabili dell'erogazione di determinati servizi: un operatore disonesto che concorre ad un PPP non curandosi dei rischi potrà contare sul supporto della parte pubblica qualora questi occorran.

L'attribuzione dei rischi, nell'Unione Europea, segue un modello standardizzato chiamato *matrice dei rischi*, e concorre alla definizione del PSC (public sector comparator), utile a determinare la convenienza -o sconvenienza- di un'opera in partenariato rispetto a quella realizzata con metodi tradizionali. Come altri parametri del PSC, viene spesso vista come una *formalità necessaria*, o ancor peggio come un elemento da sistemare a piacere affinché i conti "tornino". Anche ove l'attribuzione sia ben eseguita, non è detto che venga formalizzata nel modo corretto: gli *strumenti di mitigazione*, ovvero "chi paga cosa", e le eventuali penalità e premialità, possono essere scritti in forma discorsiva, dispersi nel capitolato.¹

¹Nella redazione di questo testo sono stati intervistati vari responsabili di procedimento di una grande amministrazione italiana che utilizza regolarmente il PPP, ed in tutti i casi la matrice venne presentata come insignificante. Altresì, sono stati analizzati in modo automatico più di

1.1 Modelli di analisi del rischio

In presenza di tali distorsioni, i governi hanno provato a definire processi standardizzati per la definizione del rischio. Il Regno Unito fornisce un "tool" ufficiale e standardizzato per il calcolo del PSC, il cui uso è obbligatorio. Il tool gestisce il rischio associando un *moltiplicatore di sensitività* ed uno *scostamento di ottimismo* ad alcune voci preimpostate ². Lo scostamento di ottimismo è una percentuale fissa di peggioramento del parametro in oggetto, giustificata dal fatto che le previsioni siano *sempre* troppo ottimistiche. Il moltiplicatore di sensitività rappresenta la possibilità dei costi di fluttuare: ciascun parametro viene variato singolarmente, dal -100% al $+100\%$, con degli step discreti del 10% , mostrando l'impatto sul PSC. L'Italia demanda alla stazione appaltante l'identificazione del rischio, mediante brainstorming e analisi statistiche comparative, suggerendone una valutazione classica pari alla media pesata degli impatti rispetto alle probabilità. ³ Rispetto alla ripartizione dei rischi, vengono semplicemente suggerite prassi di buon senso.

Nonostante i tentativi di orientare le amministrazioni, il PPP Europeo rimane uno strumento prettamente sconveniente per la parte pubblica, tanto che nel 2018 l'UE arriva a sconsigliarne l'uso fintanto che non verranno definiti migliori protocolli. Tra le principali criticità, viene citata: *"La ripartizione dei rischi tra partner pubblici e privati è stata spesso inadeguata, incoerente e inefficace, mentre gli alti tassi di remunerazione (fino al 14 %) del capitale di rischio del partner privato non sempre hanno rispecchiato i rischi sostenuti."* (Corte dei Conti Europea, 2018).

50'000 procedimenti (non necessariamente PPP) presenti nella centrale di aggregazione di Regione Lombardia Sintel, osservando che soltanto in una cinquantina di casi era presente la matrice tra gli allegati.

²Le voci sono: costi di edificazione / avvio, durata del progetto (per il solo bias di ottimismo), costi di conduzione esclusa manodopera, costi di manodopera, costi di transazione, costi per la chiusura del rapporto, proventi per la fornitura del servizio.

³L'UTFP (Unità Tecnica della Presidenza del Consiglio dei Ministri per il supporto alle operazioni di PPP) pubblica schemi ed esempi per la valutazione del rischio nel PPP. Ad esempio, per la possibilità di ritardi dei lavori dovuti all'ottenimento delle autorizzazioni si può rappresentare tramite una tabella del tipo:

Ritardo	Probabilità	Maggior costo
sei mesi o più	10 %	1000
tra tre e cinque mesi	50 %	200
al più due mesi	40 %	0

e quindi calcolare il valor medio del rischio $R = 10\% * 1000 + 50\% * 200$. La redazione della tabella è da svolgersi nel corso di un ampio *brainstorming*, in cui funzionari ed esperti della parte pubblica -ed eventualmente di quella privata-, secondo la propria esperienza ed affidandosi a benchmark ed analisi, formalizzano il rischio.

1.1.1 Fattori esogeni ed endogeni

Come discusso in precedenza, elementi di complessità nella definizione di un PSC sono la forte correlazione tra le azioni degli attori, i fattori ambientali, ma anche la possibilità di gestire ogni situazione in molteplici modi differenti. Si prenda ad esempio un caso classico di PPP, ovvero la costruzione e gestione di un edificio di interesse pubblico. Il ritardo della parte pubblica nell'ottenere l'autorizzazione di inizio lavori può tramutarsi in un ritardo di consegna dell'operatore, oppure nello svolgimento d'urgenza dell'opera a maggior costo, o ancora dello svolgimento nei tempi e nei costi, ma non a regola d'arte. In quest'ultimo caso, è probabile che a lievitare saranno i costi di conduzione, per le utenze di una struttura non efficiente dal punto di vista energetico così come per le manutenzioni di quanto malcostruito. Al contempo, il clima potrebbe divenire più caldo, mitigando l'effetto dell'inefficienza energetica; ed i materiali edili scarseggiare, rendendo ancor più care del previsto le manutenzioni. Individuare le fluttuazioni dei costi di conduzione, ed ancor di più attribuirne le colpe, può rivelarsi oltremodo complicato.

Esternalità Martimort e Pouyet, 2008 e Iossa e Martimort, 2015 hanno studiato le correlazioni tra attività nella realizzazione di un partenariato, verificando analiticamente l'opportunità di assegnare uno o più compiti ad uno stesso soggetto. Il modello utilizza i due task "costruzione" e "conduzione", ma è generalizzabile per qualsiasi attività che ne influenzi direttamente un'altra (es. progettazione - edificazione), ed applicabile a qualsiasi livello di dettaglio (es. progettazione impianto elettrico - manutenzione elettrica). Viene definito un *indice di qualità* dell'opera

$$\tilde{q} = e_1 + \tilde{\epsilon} \quad (1.1)$$

con e_1 pari all'*effort*, ovvero l'impegno dell'operatore nel realizzarla, più un fattore esogeno ϵ ; e viene determinato il *costo di conduzione* pari a

$$\tilde{c} = \tilde{\eta} - e_2 - \delta e_1 \quad (1.2)$$

con $\tilde{\eta}$ pari al costo reale, soggetto ai fattori esogeni, e_2 l'effort dell'operatore nella conduzione, δ il fattore di esternalità. Martimort e Pouyet dimostrano che la convenienza del PPP rispetto ai sistemi tradizionali è subordinata all'esternalità positiva, ovvero $\lambda > 0$.

1.1.2 Monitoraggio

Il tema del *monitoraggio* è cruciale nello svolgimento di un PPP: specialmente nelle concessioni di carattere freddo e tiepido l'azzardo morale si contrasta mediante il controllo della controparte (European PPP expertise center, 2011). Non tutto è monitorabile: è impensabile che l'amministrazione presenzi per ogni metro quadro di gettata cementizia o ispezioni il contenuto di ogni betoniera; d'altra parte, per

le attività di conduzione le cose si fanno solitamente più semplici. Ad ogni modo, molte azioni dell'operatore realizzano delle osservabili, alcune misurabili analiticamente, come la qualità dell'aria degli ambienti, la resa del riscaldamento, i tempi di attesa; ed altre qualitativamente, come la soddisfazione degli utenti. Tali osservabili generano dei KPI, *key performance indicator*.

1.2 Public sector comparator

Per valutare la convenienza di un partenariato in alternativa alle forme d'appalto tradizionali si utilizza la tecnica del public sector comparator, PSC. Ciascun PSC è formato almeno dai flussi economici di base, detti raw-PSC, dal calcolo della neutralità competitiva e dall'analisi dei rischi.

Calcolo del costo base (raw PSC) si individua il costo base dell'opera così come stimato dall'amministrazione ai fini della messa a gara (che si suppone essere il costo atteso da parte dell'amministrazione). In tale valore sono inclusi i costi di costruzione e gestione, diretti ed indiretti, ed esclusa la valutazione dei rischi che sarà inserita successivamente.

Calcolo della neutralità competitiva serve a depurare l'indicatore da qualunque vantaggio competitivo il soggetto pubblico possa vantare rispetto a quello privato in termini di agevolazioni d'imposta, garanzie, maggiori entrate, ecc. La depurazione dai fattori di vantaggio competitivo permette di giungere ad una situazione di neutralità che renda comparabili i valori ottenuti.

Analisi dei rischi consiste nella individuazione e valutazione di tutti i rischi di progetto. Una volta determinato il valore dei rischi si procede alla loro ottimale allocazione tra pubblico e privato in base alla capacità di gestione degli stessi. Le attività realizzate in questa ultima fase sono quelle tipiche del processo di risk management:

- l'identificazione dei rischi del progetto;
- la valutazione dei rischi;
- l'attribuzione dei rischi al soggetto meglio in grado di gestirli. ⁴

La stessa analisi del PSC mette in luce alcune carenze nell'attuale modello d'analisi: come visto in precedenza nella pratica, anche nella teoria si tende a non tener conto delle esternalità. D'altra parte, si osserva, per assurdo, una certa asimmetria dei

⁴Paragrafi tratti da Martiniello, [2005](#).

parametri di valutazione a favore dell'operatore: la "neutralità competitiva" viene descritta come certo elemento di svantaggio del privato, in termini di mancato accesso a tassi bancari agevolati, problemi autorizzativi etc. . Al contempo, non si accenna minimamente, ad esempio, alla maggior rigidità sulla qualità dei contratti di lavoro a cui il pubblico deve far fronte; rigidità che si tramuta sovente in costi maggiori, ma a fronte di doverose tutele per il lavoratore. Così come non si considera il primo dei rischi, che è proprio l'azzardo morale.

1.3 Ottimizzazione ed algoritmi evolutivi

Gli algoritmi evolutivi sono uno strumento di ottimizzazione euristico, utile ad affrontare problemi con funzioni obiettivo di difficile, o impossibile, caratterizzazione algebrica. Si ispirano al naturale processo evolutivo della specie, replicando a macchina processi biologici come la riproduzione, le mutazioni genetiche, la selezione naturale. Ciascuna possibile soluzione viene associata biunivocamente ad un genoma, ovvero un insieme di valori continui o discreti che ne rappresenta le caratteristiche nel modo più affidabile possibile. I genomi possono venir alterati a piacere, ad esempio mischiandoli tra loro, oppure cambiandone alcuni valori. Nel procedere della simulazione si tiene traccia degli individui in assoluto migliori, che costituiscono le potenziali soluzioni per risolvere efficacemente il problema.

1.3.1 Framework DEAP

DEAP è un framework innovativo scritto in Python per il rapido sviluppo di soluzioni basate su algoritmi evolutivi (Fortin et al., 2012), per i quali fornisce numerose utilità. DEAP offre una sintassi chiara e concisa per il lavoro con i genotipi e le rispettive funzioni obiettivo, mettendo a disposizione più di trenta valide implementazioni per incrociare, mutare e selezionare gli individui di una popolazione; oltre che ad un set di algoritmi predefiniti. Al contempo, non preclude alcuna estensione per l'utilizzatore, tant'è che in questo testo se ne sviluppa una personalizzazione per l'uso "anomalo" con delle funzioni obiettivo formate da intervalli di confidenza.

1.4 Elementi di statistica

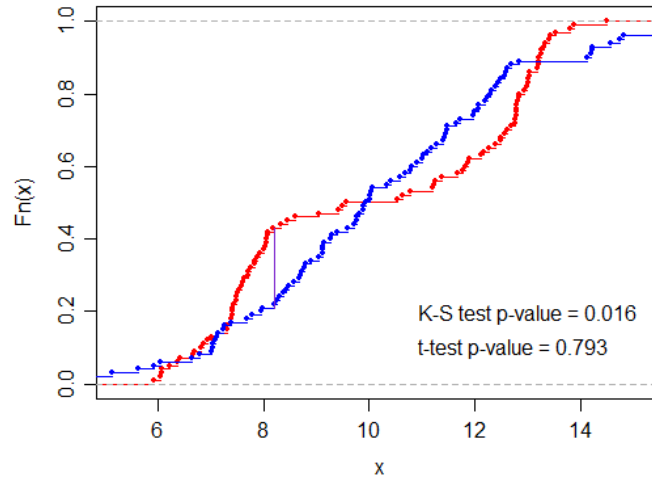
1.4.1 Confronti tra campioni

Test di Kolmogorov-Smirnov

Il test di Kolmogorov-Smirnov è un test non parametrico simile al test t di Student, utile al confronto di distribuzioni campionarie non parametriche. Il ks-test, a differenza del t, prende in considerazione le *forme* delle distribuzioni, restituendo

un classico *p-value*, pari alla confidenza con cui si può rigettare l'ipotesi nulla, ed un valore statistico, pari al punto di massima distanza tra le cumulate ⁵.

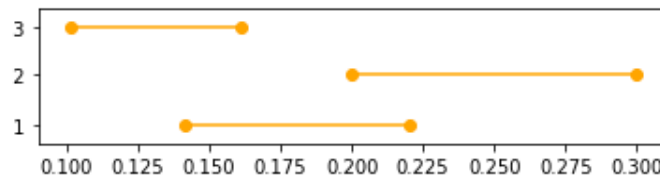
Figura 1.1. Kolmogorov-Smirnov test vs t-test



Intervalli di confidenza

Un intervallo di confidenza è un modo di stimare la statistica di una distribuzione partendo dai campioni; ad esso è associata una confidenza, un numero tra zero ed uno che ne descrive l'affidabilità. Contrariamente a quanto spesso assunto, la confidenza di un intervallo non rappresenta (e, in termini generici, non può in alcun modo rappresentare) la probabilità che la statistica reale ricada nello stesso, né la probabilità che campionando casualmente dei valori questi ricadono per la percentuale di confidenza all'interno dell'intervallo. La confidenza è un mero indicatore di bontà della statistica: ad esempio, un intervallo di confidenza al 95% della media di una distribuzione, rappresenta un range piuttosto attendibile di valori in cui ricade la suddetta.

Figura 1.2. La coppia (3,2) è comparabile, (1,2) e (1,3) non lo sono



⁵Test di Kolmogorov-Smirnov https://it.wikipedia.org/wiki/Test_di_Kolmogorov-Smirnov

Comparabilità degli intervalli. Due intervalli centrati in c_0 e c_1 , con $c_1 > c_0$, di dimensioni s_0 e s_1 , sono comparabili se la distanza tra i centri è superiore alla semisomma delle dimensioni. In termini algebrici, $c_1 - c_0 > \frac{s_0 + s_1}{2}$. Nel caso di intervalli sovrapposti è necessario provvedere a nuovi campionamenti: all'aumentare dei campioni la dimensione degli intervalli tende a ridursi, consentendo il confronto.

1.4.2 Utilità, funzione utilità esponenziale

Le funzioni utilità rappresentano un indice di soddisfazione dell'utilizzatore, utili come metrica per il confronto di soluzioni. In questo testo si utilizzano funzioni utilità che prendono in considerazione il valore economico di una soluzione e la sua variabilità. L'utilizzo di funzioni di questo genere si può spiegare intuitivamente: una persona non propensa all'azzardo tenderà a scegliere le soluzioni economicamente più convenienti, ma altresì quelle con risultati meno dispersi, ovvero caratterizzati da minor rischio; di conseguenza è utile definire un valore numerico che riassume le due statistiche. La funzione utilità esponenziale ne è un semplice esempio:

$$u_a(c) = \begin{cases} (1 - e^{-ac}) & \text{if } a \neq 0 \\ c & \text{if } a = 0 \end{cases}$$

con a pari al coefficiente di avversione al rischio. Il coefficiente di avversione al rischio quantifica in sostanza *quanto costa il ripudio del rischio*: tanto più è maggiore di zero, tanto più verranno predilette soluzioni più sconvenienti ma al contempo più certe; tanto più è minore di zero, tanto più le soluzioni avranno una componente d'azzardo. Si prendano ad esempio due soluzioni A e B che a fronte di un certo investimento danno un ritorno atteso. Per le soluzioni A e B i ritorni sono, rispettivamente, uno tra i valori equiprobabili $-7, -5, 1, 5, 7$ ed uno tra i valori equiprobabili $-5, -3, 0, -3, 5$. È semplice verificare che considerando la sola media, la soluzione A sia migliore di B. Tuttavia, quest'ultima, nei casi peggiori ha un ritorno di -7 e -5 , contro soli -5 e -3 . Applicando la funzione utilità esponenziale ai valori con due valori di a differenti, le medie risultano:

$$U_a^{0.05} = \sum_i u_{0.05}(a_i) = -0.1378$$

$$U_b^{0.05} = \sum_i u_{0.05}(b_i) = -0.0854$$

$$U_a^{0.01} = \sum_i u_{0.01}(a_i) = +0.0025$$

$$U_b^{0.01} = \sum_i u_{0.01}(b_i) = -0.0034$$

Subito si nota che con $a = 0.05$, caso di maggiore avversione al rischio, $U_b^{0.05} > U_a^{0.05}$. Viceversa, con minor avversione al rischio, viene prediletta la soluzione con media più conveniente, $U_a^{0.01}$.

1.5 Asimmetria informativa

Si parla di asimmetria informativa quando un'informazione ha differenti livelli di accessibilità tra le parti di uno stesso processo economico: dunque una parte degli interessati dispone di maggiori informazioni rispetto al resto dei partecipanti e può trarre un vantaggio da questa configurazione. (Britannica, [n.d.](#)).

L'asimmetria informativa è generalmente suddivisa in pre-contrattuale, nella forma di selezione avversa, e post-contrattuale, nella forma di azzardo morale.

1.5.1 Selezione avversa

La selezione avversa, forma di opportunismo pre-contrattuale, induce una delle parti a scegliere di cooperare con chi offre condizioni di maggior convenienza per la propria *specifica* situazione, che non è nota alla controparte. Per esempio, un'assicurazione che operasse secondo logica di profitto, difficilmente potrebbe introdurre una polizza assicurativa che tutelasse le spese mediche delle gestanti, se il calcolo di costi e convenienze avvenisse sull'incidenza del parto dell'intera popolazione femminile. La polizza sarebbe probabilmente sottoscritta per la maggior parte da donne con l'imminente intenzione di fare un figlio, così da rendere vana la statistica e di conseguenza creare un passivo all'assicurazione.⁶

In termini analitici, si supponga che esistano due segmenti di popolazione A e B percepenti entrambi un reddito R . La popolazione A, il 40% del totale, ha il 60% di probabilità di ammalarsi mentre la popolazione B, corrispondente al restante 60%, ha il 40% di probabilità di contrarre una malattia. In caso di malattia, si viene a contrarre un danno in termini economici pari a d , tale che il reddito effettivo da malati sarà $R - d$.

Si supponga che l'assicurazione proponga una polizza che consente alla popolazione A e B di proteggersi completamente dal rischio di contrarre una malattia, garantendo in tal caso un risarcimento pari a $S = d$; supponiamo che il premio di assicurazione sia pari a una percentuale p del risarcimento, in modo tale che esso coincida con $p * S$. Per la compagnia di assicurazione risulta quindi fondamentale determinare questa percentuale p . In caso di perfetta informazione, ossia l'assicurazione sa distinguere quali sono gli individui appartenenti ad A e a B, l'assicurazione

⁶E' bene riportare, al netto dell'esempio scolastico, l'esito scontato della faccenda: tale polizza sarebbe nella realtà ben più cara delle concorrenti, così da scaricare le spese mediche delle pazienti sulle pazienti stesse; che a fronte dell'esigenza di una tutela indispensabile si vedrebbero costrette a pagar più di una donna in età non fertile o di un uomo. Cito volutamente un esempio che credo faccia ben poco onore ai sistemi che lo adottano, seppur sia ampiamente ripreso in letteratura, proprio per enfatizzare quanto, anche quando si parla di vita e salute delle persone, l'asimmetria informativa venga puntualmente tenuta in conto. Situazione opposta a quella che sussiste quando si parla di partenariato, dove l'operatore privato viene descritto nella comunicazione pubblica come una figura candida e specchiata, interessato al pubblico quanto il pubblico stesso.

fa coincidere p con la probabilità di ammalarsi di ciascun segmento di popolazione. Per A quindi il premio sarà $0,6 * S$, mentre per B sarà $0,4 * S$; questa soluzione soddisfa i bisogni di tutti ⁷, poiché il premio richiesto è proporzionale alla possibilità di ammalarsi, quindi sia A sia B si assicureranno.

Si consideri il caso di asimmetria informativa: in questo caso l'assicurazione conosce solo la distribuzione percentuale di A e di B, ma non è in grado di capire a quale segmento appartenga un singolo assicurato; sarà costretta quindi a trovare una percentuale p che possa applicare a tutti senza incorrere in perdite; questa percentuale è la somma dei p dei singoli segmenti ponderati per l'incidenza in termini di popolazione, ossia $0,6 * 0,4 + 0,4 * 0,6 = 0,48$. In questo caso $0,48$ è maggiore della probabilità degli appartenenti a B di ammalarsi ($0,4$); quindi il segmento B troverà troppo iniquo assicurarsi e preferirà correre il rischio della riduzione del proprio stipendio causa malattia; si assicureranno quindi solo gli appartenenti ad A che inizialmente conseguiranno un vantaggio economico perché $p = 0,48$ è minore di $p = 0,6$ che avrebbero avuto in caso di perfetta informazione; tuttavia l'assicurazione si troverà ben presto con delle perdite poiché gli appartenenti ad A si ammalano più frequentemente della media stimata in precedenza (60% dei casi, e non il 48%): il premio p aumenterà fino ad arrivare a $0,6$, scoraggiando ancora di più gli appartenenti a B ad assicurarsi e creando un effetto perverso in cui il prodotto (assicurato) "cattivo" scaccia quello "buono" ⁸.

1.5.2 Azzardo morale

L'azzardo morale, forma di opportunismo post-contrattuale, è ciascuna informazione che uno degli attori può tenere in tutto o in parte celata agli altri attori, traendone profitto per sé. Un classico esempio nelle concessioni è caratterizzato dal riparto dei rischi: qualora ci siano frazioni di rischio in capo all'amministrazione per specifiche eventualità, e assai probabile che l'operatore cerchi in tutti i modi di farvi ricadere anche ciò che non vi rientra. Un ritardo dovuto ad imperizia può esser mascherato da impreviste condizioni del sito, un aumento di costi in riscaldamento dovuto al risparmio sulla coibentazione può esser celato lasciando al freddo gli utilizzatori. Ciascun caso è a sé stante, ma è bene chiarire che l'azzardo morale non è una variabile evitabile, ma solo prevedibile.

⁷Dove, si ribadisce, la soddisfazione è in termini di convenienza stante la necessità, ma ben distante dalla soddisfazione dell'aver ricevuto un trattamento che risponda ad un canone di etica o giustizia.

⁸Esempio tratto da https://it.wikipedia.org/wiki/Asimmetria_informativa

Capitolo 2

Approccio

I casi analizzati mostrano l'impotenza di fondo degli strumenti sinora adottati per redigere dei capitolati di PPP convenienti per la pubblica amministrazione. Le autorità italiane hanno identificato un buon protocollo di lavoro, rimarcando la necessità dell'analisi dei rischi tramite competenze specifiche e strumenti statistici. L'esperienza in materia risulta in effetti difficilmente sostituibile con qualsiasi strumento automatico, che può al più rappresentare un valido supporto al decisore. Il modello inglese, viceversa, definisce un preciso foglio di calcolo quale strumento di simulazione, sufficientemente generico per l'uso in qualsiasi situazione, che al variare di alcuni parametri mostra l'impatto sul PSC. Al netto della naturale imprecisione che deriva dalla generalizzazione, lo strumento trascura un elemento essenziale del PPP, ovvero la presenza di esternalità tra le varie attività, e non mostra gli effetti sul PSC della variazione simultanea di più parametri.

L'approccio scelto risulta simile al protocollo italiano nei termini in cui domanda ad esperti del dominio di definire analiticamente delle *variabili casuali di rischio*, che influenzano ciascuna attività. I rischi temporali, in prima battuta, devono essere monetizzati: l'operatore in ristrettezze temporali può scegliere se spendere capitale (o indebitarsi) e lavorare d'urgenza, oppure risparmiare in qualità dell'opera; ma non può dilazionare i tempi del rapporto. Tale approssimazione è forzosa, e, anche vista l'alta probabilità di variazioni sui tempi previsti, successivi affinamenti del modello dovrebbero tenerne conto. Agli esperti è altresì demandato di definire delle funzioni di esternalità, che regolano l'impatto delle scelte svolte in ciascuna attività su ciascuna altra. Le funzioni possono, ma non devono, seguire il modello lineare di Martimort e Pouyet.

Il modello prova quindi a simulare la reale interazione tra un privato, che agirà in modo di guadagnare il più possibile, ed una pubblica amministrazione, che agirà in modo da massimizzare il valore sociale dell'opera, nell'ambito dei propri vincoli economici e finanziari. Un modello siffatto stravolge le logiche "top down" degli approcci precedenti, mettendo la Pubblica Amministrazione nelle condizioni di "entrare nei panni" dell'operatore, ovvero di tarare le proprie scelte in funzione

delle reazioni previste della controparte. L'amministrazione viene quindi caratterizzata con un *genotipo* che rappresenta in buona sostanza il capitolato, e quindi i flussi di cassa previsti, le premialità/penalità, le percentuali di ripartizione del rischio. Dopodiché, vengono generati un certo numero di mondi possibili, che modificano i flussi di cassa con dei fattori di casualità distribuiti secondo le funzioni stabilite dagli esperti del dominio. L'operatore privato, in presenza di uno specifico capitolato e visto il decorrere degli eventi casuali, opera le sue scelte, definendo il proprio *genotipo* pari al *costo di effort* per ciascuna attività. L'algoritmo genetico genera nuovi genotipi, dell'Amministrazione e dell'Operatore, modificando uno o più cromosomi. Per l'operatore, prevale quello più profittevole; mentre per l'Amministrazione il confronto è più sofisticato, dovendo paragonare una coppia di vettori di risultati differenziati dai parametri aleatori. In questo caso, qualora non si ritenga sufficientemente accurato il confronto, si può procedere a nuove simulazioni estraendo nuove realizzazioni dei fattori esogeni.

2.1 Modello

Il modello, nell'ottica di costituire un reale supporto agli utilizzatori, prova a riprodurre fedelmente alcuni parametri essenziali di un PSC nel genotipo dell'amministrazione, così come le discrezionalità di partenariato nel genotipo dell'operatore.

Siano J il numero di attività ¹ e T il numero di periodi. Sia F la matrice dei flussi ideali, con $F_{j,t}$ pari al flusso dell'attività j nel periodo t . I flussi rappresentano l'esborso stimato verso terzi affinché un'attività venga eseguita a regole d'arte in assenza di esternalità e di fattori esogeni. Qualora l'opera sia calda e preveda remunerazioni da parte di soggetti diversi dalla stazione appaltante, è possibile rappresentare gli introiti tramite un flusso positivo.

L'operatore può alterare a piacere i flussi previsti dell'amministrazione, spendendo meno o più del preventivato. Tale variazione si rappresenta con una matrice di *costi di effort* E , con ciascun $E_{j,t}$ che rappresenta la variazione percentuale rispetto ai flussi $F_{j,t}$. La variazione può determinare una sensibile diminuzione -o incremento- di qualità nel conseguire il risultato dell'attività, ma ne deve comunque garantire la conclusione nei tempi previsti. Un costo di effort negativo rappresenta un'attività non eseguita a regola d'arte, che, di norma, determina il rincaro di task successivi e/o il peggioramento di uno o più KPI.

Il PPP è soggetto a rischi: si analizzano quelli derivanti dalle azioni dell'operatore e quelli esogeni, che nella maggior parte dei casi comportano aumenti di costo. Un rischio può essere determinato in tutto o in parte da azioni dell'operatore, in

¹Un'attività è una qualunque azione compiuta nell'ambito del capitolato, con un livello di dettagli a piacere. Es: la progettazione dell'edificio, costruzione muri, manutenzione dell'impianto elettrico, potatura delle aree verdi...

qualità di esternalità, e in tutto o in parte dai fattori esogeni. Idealmente, i costi di un'esternalità sono sempre in carico all'operatore, mentre il rischio esogeno è ripartito da capitolato tra operatore ed amministrazione. Sia R il numero di rischi identificati, ed $R^{\%}$ il vettore di ripartizione del rischio da fattori esogeni, con $R_r^{\%}$ la percentuale in carico dall'amministrazione per il rischio r . L'amministrazione, tuttavia, non sempre è in grado di determinare con precisione la causa di realizzazione di un rischio. Sia $A^{\%}$ il vettore dell'asimmetria informativa. Ciascun $A_r^{\%}$, relativo al rischio r , è pari alla percentuale di esternalità che l'operatore può propinare all'amministrazione come fattore esogeno. Sia ε la matrice di fattori esogeni, con $\varepsilon_{r,t}$ la realizzazione della variabile casuale che caratterizza i fattori esogeni del rischio r al tempo t .

Il canone concessorio fee rappresenta un esborso predeterminato dell'amministrazione nei confronti dell'operatore, da erogare ogni periodo. Se non è soggetto ad ottimizzazione, e se l'utilizzatore non è interessato alla bancabilità dell'operazione, diviene un addendo fisso non significativo per la simulazione e può essere trascurato.

I KPI sono lo strumento dell'amministrazione per monitorare il buon andamento del processo. Sia K il numero di KPI, ed $f_k(E)$ una funzione che presa in input la matrice di effort restituisce una matrice di KPI, di dimensione pari a K per i periodi di contratto ².

L'amministrazione definisce una matrice di penalità monetarie $pnlt$, con relative soglie th . Per ogni $f_k(E)_{k,t} < th_k$ viene comminata una sanzione $pnlt_k$.

Ogni variazione dei flussi previsti dall'amministrazione tramite effort non nullo può produrre un'esternalità, ovvero un incremento o decremento dei costi per lo svolgimento a regola d'arte delle attività successive. Solitamente l'esternalità è positiva, ovvero direttamente correlata al costo di effort. Sia $f_x(E)$ una funzione che presa in input la matrice degli effort, restituisce la matrice delle esternalità, di dimensioni pari ad E , con $f_x(E)_{j,t}$ il valore dell'esternalità che subisce l'attività j

²La funzione KPI ideale è l'applicazione lineare della matrice identità per l'effort, che fornisce all'amministrazione il reale flusso di cassa dell'operatore per ogni attività e per ogni periodo ai fini di garantire una realizzazione ad opera d'arte. Si noti che il flusso totale dell'operatore per un certo task è influenzato, oltre che dalla necessità di sviluppare un'opera a regola d'arte, anche dalle eventuali esternalità o dai fattori esogeni discussi in seguito. Il KPI non monitora *quanto l'operatore spende*, bensì *quanto l'operatore spende affinché l'opera sia buona*. Un incremento dei flussi per fronteggiare un imprevisto o calmierare gli esiti di un risparmio precedente non sono misurati dal KPI.

al tempo t ³.

Uno scenario di fallimento dell'operatore genera perdite anche per l'amministrazione ⁴. Sia quindi $f_d(x)$ una funzione monotona crescente che rappresenta i maggiori costi a cui l'amministrazione deve far fronte quando l'operatore matura un certo passivo x .

I valori di F e $pnlt$ sono da considerarsi già attualizzati al tasso di inflazione t_i . La fee non varia con l'inflazione. I flussi risultanti sono scontati al tasso di sconto t_s .

2.1.1 Dati del problema

Costituiscono dati del problema J, T, K, R quali numero delle attività, dei periodi, dei KPI e dei rischi; la matrice F dei flussi previsti; le variabili casuali che realizzano ε ; le funzioni f_x di calcolo delle esternalità, f_k di calcolo dei KPI ed f_d di calcolo dei costi di fallimento; il tasso di sconto t_s e il tasso d'inflazione t_i .

2.1.2 Genotipi

Operatore

Il genotipo dell'operatore esprime la matrice di costi di effort percentuali E tramite un numero di geni floating-point di egual dimensione, $J * T$. L'utilizzatore ne imposta i limiti, purché $E_{j,t} > 0 \forall j, t$.

³Le funzioni di esternalità devono essere modellate da esperti del dominio, e migliorano le previsioni del sistema quanto più sono precise. E' possibile ricondurre il calcolo delle esternalità al modello di Martimort e Pouyet di cui alla 1.2 identificando un'opportuna funzione Ψ_a che, dato un effort e per l'attività a , restituisce il relativo costo di effort per la medesima attività E_a

$$E_{a,t} = \Psi_a(e_{a,t})$$

quindi, assumendo che l'attività $a1$ svolta nell'anno t riceve esternalità dall'attività $a2$ svolta nell'anno $t-1$ con coefficiente λ si ottiene

$$f_{a1,t}^{ext}(E) = \Psi_{a2}^{-1}(E_{a2,t-1}) * \lambda$$

.

⁴In regime di responsabilità solidale il debito residuo dell'operatore a termine contratto potrebbe ricadere sull'amministrazione. In questo caso:

$$\begin{cases} f_d(x) < x & \text{if } x < 0 \\ f_d(x) = 0 & \text{if } x \geq 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

In generale, l'evento richiederebbe presumibilmente la ripetizione dell'appalto, con costi amministrativi, danni d'immagine, alienazione dei funzionari.

Amministrazione

Il genotipo dell'amministrazione esprime: la *fee* di concessione, con un gene floating-point; la matrice delle penalità monetarie *pnlt* e delle soglie *th*, entrambi con un numero di geni floating-point pari a K ; il vettore di ripartizione del rischio $R^\%$, con un numero di geni floating point pari ad R .

I limiti per *th* sono da tararsi rispetto al codominio della funzione $f_k(E)$, di cui rappresentano metro di valutazione. Il geni di *pnlt* e della *fee* sono limitati secondo buonsenso dell'utilizzatore, e sempre maggiori di zero. I geni di $R^\%$ sono limitati tra zero ed uno.

2.1.3 Obiettivi

Ai flussi delle funzioni obiettivo è applicato un tasso di sconto nominale t_{sn} pari a

$$t_{sn} = (1 + t_i) * (1 + t_{sr}) - 1 \quad (2.2)$$

Operatore

L'operatore è interessato a massimizzare il suo guadagno, e di conseguenza tenderà a ridurre quanto possibile l'effort di costruzione e conduzione. Argini alla riduzione sono le penalità dell'amministrazione e le esternalità positive ⁵.

Sia p la matrice delle penalità comminate. Se nell'anno t , per il KPI k , l'operatore non raggiunge il livello di servizio stabilito, th_k , viene comminata una sanzione pari a $pnlt_k$

$$p_{k,t} = \begin{cases} pnlt_{k,t} & \text{if } af_k(E)_{k,t} < th_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.3)$$

Sia ε^* la matrice dei rischi che possono essere propinati all'amministrazione. Il primo addendo rappresenta i fattori esogeni, ed il secondo le esternalità

$$\varepsilon_{r,t}^* = \varepsilon_{r,t} + f_x(E)_{r,t} * A_r^\% \quad (2.4)$$

si osservi che entrambi gli addendi possono essere sia positivi che negativi: i fattori esogeni possono risultare anche favorevoli, così come le esternalità. In presenza di esternalità favorevoli ed esogeni sfavorevoli, a rimetterci sarà l'operatore: non vi saranno maggior costi e di conseguenza l'amministrazione non dovrà condividere alcuna spesa di rischio, ma il suo precedente sforzo sarà vanificato. Al contrario, in presenza di esternalità sfavorevoli ed esogeni favorevoli, la casualità aiuta l'operatore a mitigare la sua imperizia pregressa; ed, in ogni caso, l'asimmetria informativa

⁵Si ricorda che l'esternalità è positiva quando il coefficiente tra costi di effort ed esternalità è positivo: di conseguenza un'esternalità positiva provoca un danno a fronte di una riduzione dei costi.

gli potrebbe consentire di dichiarare il falso all'amministrazione, ottenendo ulteriore supporto. In generale, se il rischio esogeno più il rischio propinabile danno somma negativa, l'operatore richiede il supporto dell'amministrazione nell'affrontare la maggior spesa, mentre se danno somma positiva ne trae guadagno per sé. Con r^{op} la matrice dei rischi pagati dall'operatore, ne consegue che

$$r_{r,t}^{op} = \begin{cases} \varepsilon_{r,t}^* * (1 - R_r^{\%}) & \text{if } \varepsilon_{r,t}^* < 0 \\ \varepsilon_{r,t}^* & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.5)$$

Si può a questo punto definire un contributo alla funzione obiettivo per l'anno t , prendendo la fee , riducendola dei costi fissi e delle sanzioni, e sommando infine i rischi.

$$L_t^{op} = fee - \sum_{j=1}^J (F_{j,t} * (1 + E_{j,t})) - \sum_{k=1}^K (p_{k,t}) + \sum_{r=1}^K (r_{r,t}^{op}) \quad (2.6)$$

e di conseguenza

$$L_{op} = \sum_{t=1}^T (L_t^{op} * \frac{1}{(1 + t_{sn})^t}) \quad (2.7)$$

Amministrazione

L'amministrazione è interessata ad ottimizzare il *social value* dell'operazione, ovvero a massimizzare lo sforzo esercitato dall'operatore per realizzare l'opera a regola d'arte minimizzando le spese. Nel modello descritto, il social value è così pari ai flussi di cassa previsti moltiplicati per l'effort, dedotte le fee . Si devono quindi definire alcuni correttivi, in primis rispetto alla compartecipazione dei rischi. Quando l'amministrazione deve pagare per un rischio esogeno (vero o propinato), perde denaro che potrebbe investire in altre opere. Il social value è quindi ridotto di quanto indica la matrice r^{pa} , speculare di r^{op} , con

$$r_{r,t}^{pa} = \begin{cases} \varepsilon_{r,t}^* * R_r^{\%} & \text{if } \varepsilon_{r,t}^* < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.8)$$

D'altra parte, non si è ritenuto utile computare un guadagno all'amministrazione per le multe comminate. L'algoritmo interpreta così le sanzioni come definite dalla legge e dal buonsenso, ovvero come strumento per indirizzare i lavori verso la qualità prevista.

Si può a questo punto definire un contributo alla funzione obiettivo per l'anno t come

$$L_t^{pa} = -fee + \sum_{j=0}^J (F_{j,t} * (1 + E_{j,t})) + \sum_{r=0}^r (r_{r,t}^{pa}) \quad (2.9)$$

Si noti che fino ad ora l'amministrazione non si interessa minimamente del buon andamento delle casse dell'operatore, ma punta semplicemente a fornire il miglior

servizio possibile pagandolo il meno possibile. Contesti di questo tipo presenterebbero sanzioni elevatissime per ogni disservizio, premi assenti o di valore inferiore allo sforzo per ottenerli, un canone concessorio ridotto al minimo di simulazione, l'assunzione di una percentuale nulla di rischio. Si completa quindi la funzione obiettivo con la funzione di penalità per il fallimento f_d :

$$L_{pa} = \sum_{t=0}^T (L_t^{pa} * \frac{1}{(1 + t_{sn})^t}) + f_d(L_{op}) \quad (2.10)$$

2.2 Implementazione

L'algoritmo descritto è stato implementato in linguaggio python. Tramite file di configurazione si consente all'utilizzatore di inserire i parametri del problema così come definiti nella sezione precedente.

2.2.1 Pacchetto DEAP-Conf

Ai fini dell'ottimizzazione, forti dei limiti del modello precedente (descritto in appendice B), si è approfondito l'uso del framework DEAP. Nonostante i risultati più incoraggianti, si è faticato nel trovare delle soluzioni preesistenti che assecondassero tutte le specificità del problema. Si è quindi realizzato un apposito pacchetto in linguaggio python che rispondesse alle seguenti caratteristiche:

- possibilità di gestire soluzioni stocastiche, caratterizzate da intervalli di confidenza;
- gestione delle funzioni utilità;
- strumenti di supporto per una spinta parallelizzazione;
- totale integrazione con il framework DEAP e con i potenti strumenti in esso contenuti.

Inoltre, seppur non fosse un punto essenziale, si è cercato di mantenere la sintassi dell'utilizzatore concisa e DEAP-friendly, tramite l'inserimento di alcuni *syntactic sugar*. Il pacchetto è sufficientemente generico da poter essere utilizzato in qualsiasi problema stocastico di carattere economico o fisico che si ottimizzi tramite una funzione utilità, ed il suo listato liberamente accessibile su GitHub, oltre che, in forma contratta, riportato in appendice ??.

Intervalli

La selezione della specie tramite una funzione obiettivo stocastica passa dal confronto di intervalli di confidenza: a ciascuna soluzione è associato un range di riferimento che può essere immediatamente comparabile ad un altro, oppure sovrapposto.

Come discusso in precedenza, due intervalli centrati in c_0 ed c_1 , con $c_1 > c_0$, di dimensioni s_0 e s_1 , sono comparabili se $c_1 - c_0 > \frac{s_0 + s_1}{2}$. Nel caso di intervalli sovrapposti è necessario provvedere a nuovi campionamenti: all'aumentare dei campioni la dimensione degli intervalli tende a ridursi, consentendo il confronto.

Il confronto degli intervalli in DEAP-Conf avviene con un overloading degli operatori $>$, $<$, $=$, $\neq$.

Quanto campionare? - Qualità assoluta dell'intervallo

Empiricamente si osserva che, per piccoli campioni, gli intervalli non seguono affatto il comportamento asintotico, oscillando anziché ridursi. Tale comportamento è oltremodo negativo e può indurre a confronti errati. In figura 2.1 sono mostrati gli andamenti delle dimensioni degli intervalli di confidenza della funzione obiettivo della pubblica amministrazione all'aumentare del numero di campioni; estratti casualmente dalla simulazione "autostrada a99" ⁶. Dal grafico, si desumono due soglie: **10 campioni** come minimo accettabile per evitare oscillazioni grossolane, e **30 campioni** per avere una certa regolarità.

Definendo soluzione "spuria" quella con meno di 10 estrazioni e "piena" altrimenti, in DEAP-Conf il confronto tra soluzioni segue le regole:

- una soluzione spuria è incomparabile, e risulta sempre uguale a qualsiasi altra;
- una soluzione piena non può essere maggiore di un'altra che abbia più dei 3/2 dei suoi campioni;
- diversamente, si segue il confronto classico tra intervalli.

Ovviamente è possibile configurare a piacere le soglie in funzione del problema. Il significato delle regole è abbastanza auto-esplicativo: il confronto tra soluzioni avviene nella selezione della specie ma anche nella stesura della *Hall Of Fame*, in cui sono contenute le soluzioni finali. E' quindi bene che una soluzione apparentemente valida a causa di poche estrazioni non vada a sostituirne una in realtà migliore.

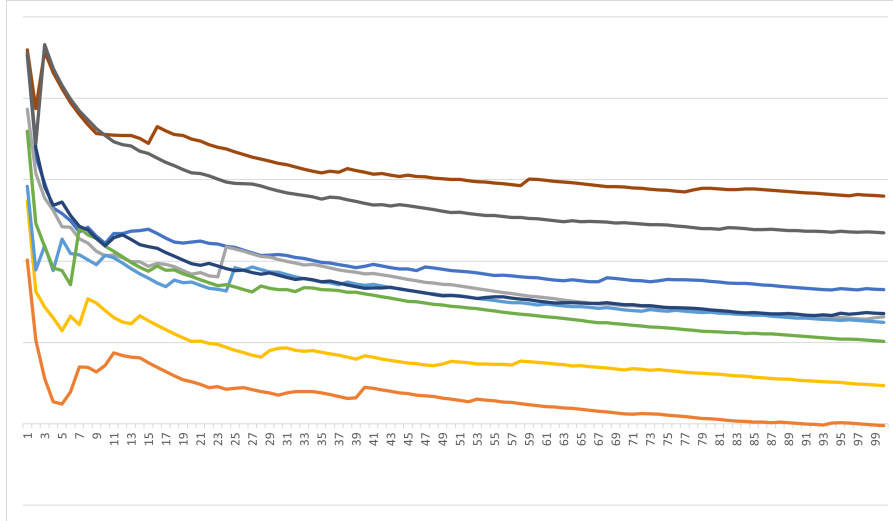
Quanto campionare? - Qualità relativa degli intervalli

Al problema di qualità del singolo intervallo, se ne associa uno relativo: dal momento in cui algoritmi di selezione sono basati sul confronto, la loro efficacia è maggiore quanto più gli intervalli sono comparabili tra di loro. In questo senso, un indice di bontà degli intervalli si può definire con il rapporto:

$$Q_{int} = \frac{\text{coppie confrontabili}}{\text{coppie totali}}$$

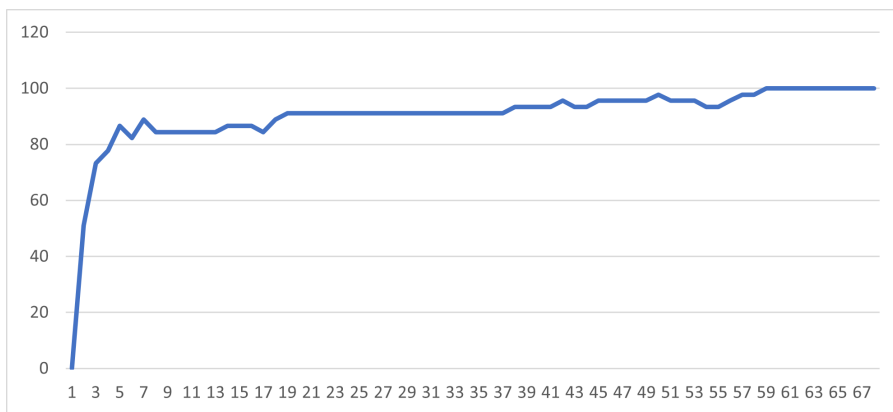
⁶I dati sono nell'allegato nsamples_vs_intervalsize.xlsx

Figura 2.1. Sample number vs 95% confidence interval size (log)



La figura 2.2 mostra l'andamento di Q_{int} all'aumentare del numero di campioni per soluzione. Si noti che le soluzioni analizzate sono generate casualmente, di conseguenza sono sufficienti *relativamente pochi* campionamenti per renderle tutte comparabili. Due soluzioni molto simili, ad esempio perché mutazioni di una stessa altra, possono richiedere sforzi ben maggiori. Deap-conf offre un'utilità per il calcolo

Figura 2.2. Sample number vs Q_{int}



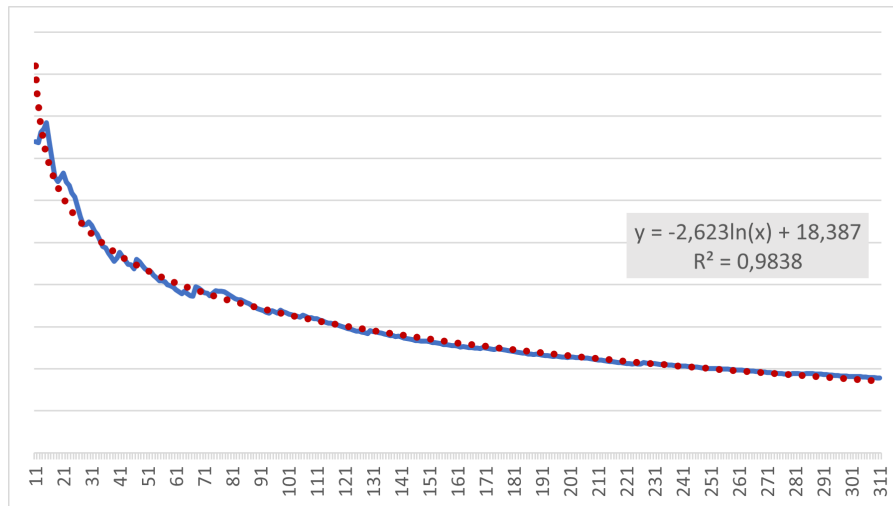
di Q_{int} .

Che soluzione campionare?

Il problema in questione, in quanto "gioco a due", ha l'ulteriore difficoltà di avere una funzione obiettivo *tremendamente lenta*: nell'esempio dell'autostrada a99 arriviamo a tempi di calcolo superiori al secondo. Intuitivamente, risulta quindi sconveniente procedere indistintamente per ciascun elemento, anche laddove inutile, quanto piuttosto spendere potenza computazionale per capire che soluzione è meglio campionare.

Lo studio dei dati ha evidenziato che la dimensione dell'intervallo in funzione dei campionamenti è ben approssimata dal logaritmo (2.3); di conseguenza, parità di step di simulazione, un intervallo di pochi campioni tenderà a ridursi molto, mentre uno che ne ha già tanti si ridurrà di poco.

Figura 2.3. Sample number vs 95% conf. interval and logarithmic trendline



Sintassi

Il pacchetto DEAP-Conf gestisce in autonomia questi tre elementi di complessità, offrendo all'utilizzatore un'interfaccia del tutto trasparente. L'overloading degli operatori di confronto delle soluzioni tiene conto del numero di campioni, ed è inoltre fornita un'apposita *iterable class* che "ferma" la simulazione finché Q_{int} non è ritenuto accettabile. Per chi lo adopera, il costo è di due sole righe di codice:

```
# Check % of comparable
for targets in UntilEnough(pop + hof + offspring, 0.25, MAXITER):
    # targets are the current solutions
    # with lowest number of samples
    toolbox.addSamples(targets, 5)
```

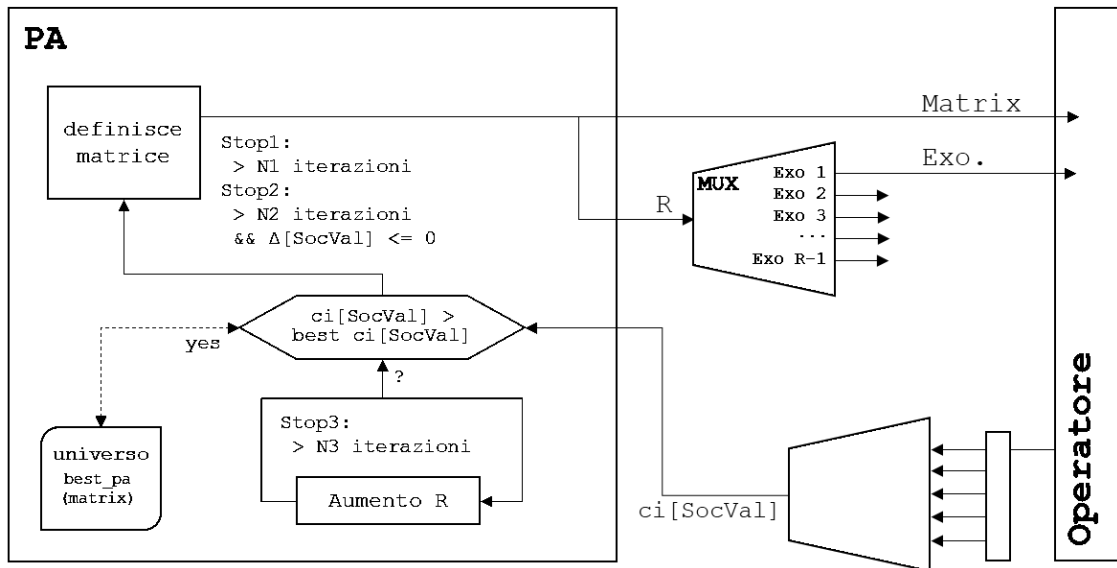
```
# If you are here, the % of comparable solution is upper than
# bound, or MAXITER is reached.
```

Lo svolgimento delle simulazioni, ovvero in contenuto di `addSample` è effettuato in forma del tutto parallela, sia nell'ambito dei campionamenti di una stessa soluzione, sia nell'ambito di quelli provenienti da più soluzioni diverse. Ciascun campionamento richiesto, indipendentemente dalla simulazione destinataria, è inserito in una stessa lista, da cui il pool di workers attinge.

2.2.2 Algoritmo

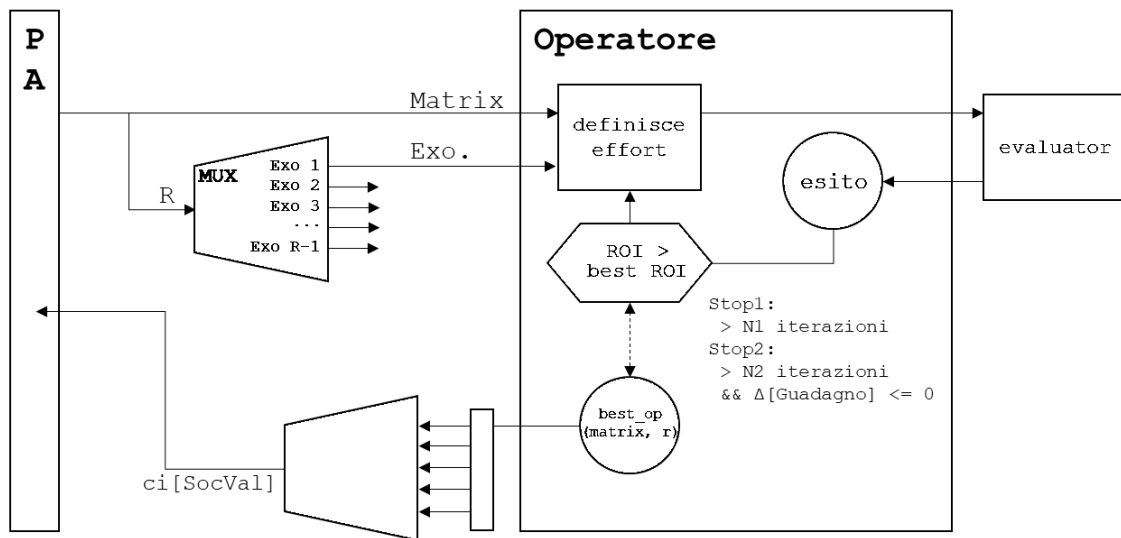
L'algoritmo è stato scritto in linguaggio python3, utilizza DEAP e DEAP-Conf, ed è anch'esso quanto più possibile estendibile e generalizzato. I parametri di simulazione si configurano estendendo la classe `EvPSCSym`, ed hanno i medesimi nomi di quelli descritti nel modello. La dinamica di simulazione segue anch'essa quanto precedentemente descritto: la pubblica amministrazione genera un certo numero di soluzioni, che rappresentano il capitolato, e per ciascuna esegue dei campionamenti delle variabili casuali, che rappresentano i fattori esogeni. Per ciascun campionamento, si passano i valori degli esogeni e del capitolato alla simulazione dell'operatore, che provvede ad ottimizzare il suo guadagno. Con i risultati ottenuti, la pubblica amministrazione ottimizza il valore sociale.

Figura 2.4. Flusso di esecuzione per la pubblica amministrazione



L'operatore, dal canto suo, si muove con più semplicità dell'amministrazione: potendo fare le sue scelte giorno per giorno può adattare le sue scelte ad uno specifico capitolato, così come agli specifici fattori esogeni realizzati. La programmazione del "profilo" dell'operatore è quello del peggior caso, ovvero colui che farà di tutto per massimizzare il suo guadagno, riducendo l'effort al minimo e propinando tutto ciò che l'asimmetria informativa gli consente.

Figura 2.5. Flusso di esecuzione per l'operatore



La programmazione della funzione-obiettivo dell'operatore è stata la più complessa, per ragioni di performance: come si evince dallo schema, la funzione in oggetto viene eseguita miliardi di volte. Lo stesso modello è stato riadattato, in parte, per garantire dimensioni omogenee tra vari elementi, permettendo una più spinta vettorializzazione ⁷.

⁷https://en.wikipedia.org/wiki/Array_programming

Capitolo 3

Risultati

L'algoritmo descritto è stato testato su diversi casi-prova ed applicato ad un caso reale ben rappresentativo delle classiche caratteristiche del PPP.

3.1 Casi di test

Si sviluppano alcuni test per verificare le funzionalità dell'algoritmo. Gli esempi di questa sezione hanno i seguenti dati comuni. Tasso d'inflazione $t_i = 0$, tasso di sconto reale $t_{sr} = 0.05$. Due attività: j_1 la costruzione, della durata di un periodo, e j_2 la conduzione, della durata di cinque periodi; di conseguenza $T = 6$. Un solo rischio, $R = 1$. L'operatore ha possibilità di variare ciascun suo effort $E_{j,t}$ fino al 20% in più o in meno. C'è responsabilità solidale con funzione di penalità per fallimento $f_d(x) = 5x$ con $x < 0$. Due KPI, il primo determinato in egual misura da costruzione e conduzione $f_k(E)_{k=1,t} = E_{j=1,t}/2 + E_{j=2,t}/2$, ed il secondo diretto osservabile della conduzione $f_k(E)_{k=2,t} = E_{j=2,t}$. Flussi così definiti:

t	1	2	3	4	5	6
costruzione	1000					
conduzione		250	250	250	250	250

La funzione utilità è un'esponenziale di parametro zero, rendendo il problema un'ottimizzazione della media delle estrazioni. Rispetto ai parametri di simulazione, ove non diversamente specificato, si adopera una popolazione di 16 individui con probabilità di crossover e di mutazione rispettivamente del 10% e 30%. Il "blocco" di DEAP-Conf è configurato con il default: stop finché almeno il 25% delle soluzioni non è comparabile, con al più 100 iterazioni.

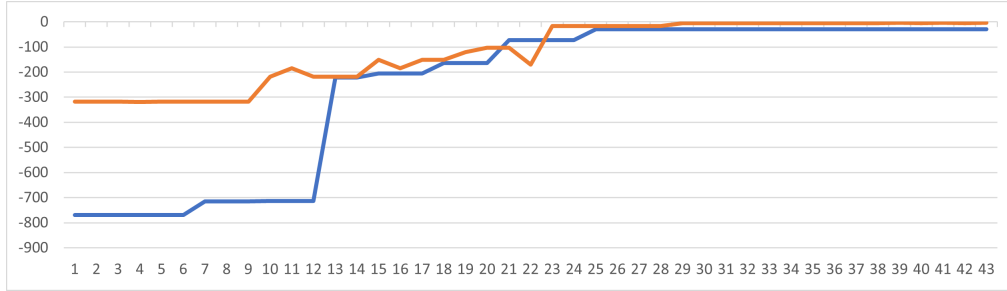
3.1.1 Gioco a due

Primo test

Il primo test è in assenza di fattori esogeni, $\varepsilon_{r,j} = 0$, esternalità, $f_x(E)_{j,t} = 0 \forall j, t$ ed asimmetria, $A_r^{\%} = 0 \forall r$. Si fa la simulazione con due differenti semi di random, 70 ed 80 ¹, ottenendo risultati con convergenza in linea (figura 3.1.1). Si riportano i risultati:

	After 1 min	After 10 min
mean social value (seed 1)	-770	-29
mean social value (seed 2)	-318	-4

Figura 3.1. Test-case 1a, steps vs social value, different seed



La prima soluzione trovata è la seguente:

```
fee 374.65          # canone concessorio
th [[-0.05472297]  # soglia per il kpi 1
  [-0.00597934]]   # ** kpi 2
pnlt [[206]        # penalità per non raggiungimento
      [224]]        # della soglia del kpi1
                        # ** kpi 2
Rpc [[67]]         # percentuale di assunzione del
                  # rischio da parte della p.a.
```

mentre la seconda:

```
fee 371.41
th [[-0.05099083]
    [-0.00549978]]
```

¹Si ricordi che in presenza di parallelismo il seme non garantisce piena uniformità in esecuzioni successive.

```
pnlt [[437]
      [95]]
Rpc  [[17]]
```

Si osserva che l'algoritmo ha coerentemente riconosciuto la necessità di introdurre penalizzazioni e di ridurre il canone concessorio ad un valore attendibile, pari a circa il valore dei flussi a cui deve far fronte l'operatore.

Secondo test

Si modifica la funzione di penalità, con una non continua ben più dura da gestire, $f_d(x) = x + 1000$ con $x < 0$; e si imposta il blocco di DEAP-Conf al 75%. Si ottiene:

	After 1 min	After 5 hours
mean social value	-1000	-403

```
fee 534.97
th [[0.07478532]
    [0.19867137]]
pnlt [[498]
      [242]]
Rpc  [[36]]
```

Terzo test

Si ripristinano i dati del primo test, introducendo esternalità positiva per i primi due anni di conduzione pari ad un terzo del costo di effort in costruzione:

$$f_x(E)_{j,t} = \begin{cases} \frac{1000 * E_{j=1,t=1}}{3} & \text{con } t \in [2,3], j = 2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

si ottiene

	After 1 min	After 5 hours
mean social value	-255	-31

```
fee 306.65
th [[-0.17694626]
    [-0.19989211]]
pnlt [[382]
      [316]]
Rpc  [[20]]
```

si nota che la forte esternalità ha dato i suoi effetti: il social value è migliore, anche a fronte di penalità con soglie piuttosto basse.

3.2 Casi studio

3.2.1 Autostrada a99

Il settore autostradale segue il modello discusso per quanto riguarda le esternalità. Singh, 2018 lega le maggiori spese di conduzioni a quelle di manutenzione, Bardaka et al., 2016 stimano i minori costi di conduzione quando il costruttore debba occuparsene in prima persona. L'autostrada a99 è un esempio tratto da Martiniello, 2005, componente dell'UTFP, che riporta i dati in forma anonimizzata di una reale concessione autostradale. Nell'esempio che segue, gli importi ed i rischi sono tratti -con alcune modificazioni- da Martiniello, 2005, mentre le funzioni di esternalità sono arbitrarie.

Dati di simulazione e mappatura dei genotipi

Si considera un tasso di inflazione $t_i = 2,5\%$ ed un tasso di sconto reale $t_{sr} = 5\%$ e si calcola di conseguenza il tasso di sconto nominale:

$$tsn = (1 + t_i) * (1 + t_{sr}) - 1 = 7.625\%$$

In tabella in A.1 si riporta il "raw psc" con i costi definiti ai prezzi di mercato del tempo zero. Vista la notevole complessità di simulazione, si adoperano alcune accortezze nella definizione dei genotipi di operatore ed amministrazione, anzitutto condensando i "periodi affini"². A tal proposito viene definito un vettore L di lunghezze di ciascun gruppo di periodi:

$$L = 1, 1, 4, 1, 1, 22$$

e viene di conseguenza definito un vettore di moltiplicatori M_g pari alla sommatoria degli indici d'inflazione. Ad esempio, per il gruppo di periodi 2005-2008, ovvero dal terzo al sesto anno, il moltiplicatore risulta:

$$M_{2005-2008} = \sum_{t=3}^6 \frac{1}{(1 + t_i)^y} = 3.67$$

ripetendo l'operazione per ciascun gruppo si ottiene:

$$M = [1.000, 0.975, 3.670, 0.862, 0.841, 14.104]$$

²Si intendono periodi affini i periodi che condividono le stesse voci del raw psc, secondo la logica intuitiva che a parità di condizioni l'operatore svolga le stesse azioni. Questa contrazione non è priva di perdita: l'operatore potrebbe in effetti svolgere scelte differenti da un anno all'altro, anche a parità di condizioni. Il modello consente la contrazione, parziale o totale, senza imporla; in base all'esigenza d'utilizzo.

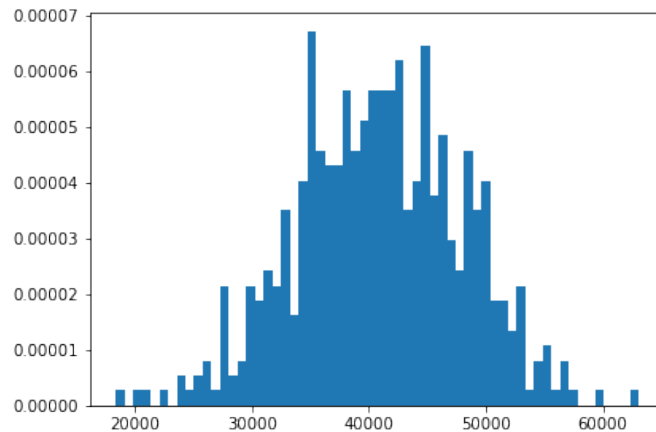
i flussi di partenza si possono di conseguenza, con un'unica operazione, attualizzare e raggruppare. La matrice così definita è riportata in tabella A.2. Per quanto riguarda i rischi la fonte utilizzata, così come di consueto, riporta dei valori discreti frutto di benchmark di contratti affini (tabella A.3). Anch'essi vengono attualizzati e raggruppati, mediante una strategia di precalcolo di scenari randomici. Ad esempio, per il gruppo di periodi 2005 - 2008, il rischio di acquisizione dei terreni si può precampionare estraendo 4 volte una variazione (3, 0, 8, 12, 15) con le rispettive probabilità di occorrenza (0%, 22%, 20%, 28%, 30%). I quattro esiti vanno moltiplicati per i moltiplicatori M_i relativi agli anni 2005, 2006, 2007, 2008, e quindi il risultato sommato ³⁴. L'asimmetria informativa Apc è assunta pari a zero per ciascun task. Le osservabili sono pari all'effort, di conseguenza la funzione di calcolo è pari alla matrice identità moltiplicata vettorialmente per l'effort. Non sono presenti esternalità. Viene utilizzata una funzione obiettivo esponenziale di parametro 0.015:

$$u(c) = \begin{cases} (1 - e^{-0.015*c}) & \text{if } a \neq 0 \\ c & \text{if } a = 0 \end{cases}$$

³Si noti che anche in questo caso c'è potenziale perdita di informazione, in particolar modo su lunghe aggregazioni. Nelle brevi, volendo, si può precampionare l'intero range di possibilità, evitando perdite. Anche in questo caso il tema è l'ottimizzazione: estrarre una soluzione randomica in corso d'esecuzione costa meno che estrarne decine.

⁴In precedenza si è anche verificato se le distribuzioni fossero ben approssimate da una normale, così da desumerne dei parametri. La differenza nelle distribuzioni a causa dell'attualizzazione rende purtroppo invalido il teorema del limite centrale, tant'è che eseguendo un test di normalità (D'Agostino, 1971) risulta un p-value pari a 0.73.

Figura 3.2. 5000 samples from a99 example, 2005-2008, manutenzione ordinaria



L'operatore ha possibilità di variare ciascun suo effort $E_{j,t}$ fino al 20% in più o in meno. C'è responsabilità solidale con funzione di penalità per fallimento $f_d(x) = 2x$.

Esito

Si riporta il capitolato esito di circa 10 ore di simulazione in appendice A. A titolo di confronto si aggiunge una delle soluzioni svolte verso la metà della durata della simulazione, la prima che disponga di un numero di estrazioni significativo.

	After 5 hours	After 10 hours
mean utility	-1.01873	-1.01852
mean social value	-1270 mln	-1225 mln
mean 1th quartile s.v.	-1560 mln	-1492 mln

Plottando i risultati risulta chiaro il ruolo della funzione obiettivo: nonostante le medie siano analoghe, la soluzione più ottimizzata presenta un tasso di rischio ben minore di quella meno ottimizzata. Peraltro, l'attuale algoritmo non considera il tasso di fallimento dell'operatore di una soluzione, ma semplicemente applica una penalità monetaria all'amministrazione laddove questo accade ⁵. I risultati più negativi potrebbero celare esattamente questa occorrenza, e di conseguenza essere "ancor peggiori" di come appaiono. La scelta di una funzione di penalità più severa renderebbe ancor più marcata la differenza tra le due soluzioni.

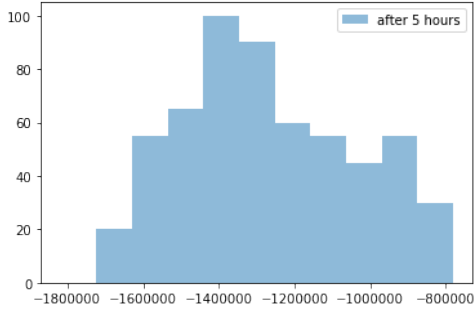


Figura 3.3. a99 after 5 h

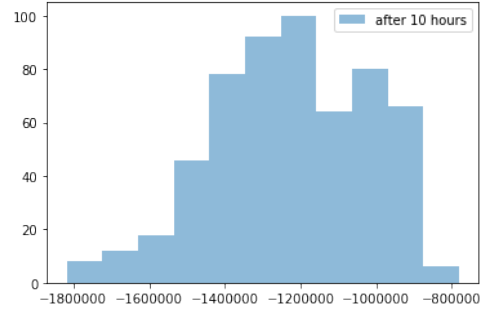
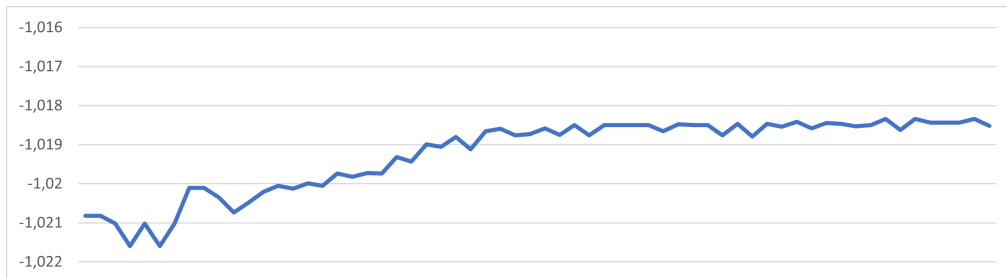


Figura 3.4. a99 after 10 h

Si riporta infine l'andamento complessivo della funzione obiettivo nell'arco della simulazione (l'ascissa rappresenta circa 10 ore):

⁵Pari al doppio del debito residuo dell'operatore.

Figura 3.5. a99 utility vs simulation step



Capitolo 4

Conclusioni

Si è discussa l'opportunità di definire alcuni parametri di un capitolato di partenariato pubblico-privato mediante computational intelligence, definendo un modello che in funzione del raw psc, dei rischi, delle esternalità e delle azioni osservabili mediante kpi, riproduce il rapporto tra un'amministrazione pubblica ed un'operatore privato. A tal fine si è sviluppato un algoritmo genetico su due livelli, fortemente ottimizzato, basato sul framework DEAP. L'esigenza di usare DEAP in presenza di fattori stocastici ha portato alla scrittura di DEAP-Conf, un pacchetto estensione di DEAP semplice e riutilizzabile per problemi affini. Il sistema così programmato è stato testato su vari casi-prova e su un caso reale di notevolissima difficoltà computazionale, l'autostrada a99, ottenendo risultati promettenti. E' emerso che, nonostante quanto impongano gli obblighi di legge e suggerisca il buon senso, ci sia una notevole difficoltà nel reperire benchmark e analisi rispetto ai fattori di rischio, ed ancor più rispetto alle funzioni di esternalità. Come citato in premessa, questo strumento altro non è che un cannocchiale per chi già ha buona vista, una potente calcolatrice a disposizione dell'esperienza di un accorto decisore.

Appendice A

Dati e risultati delle simulazioni

Autostrada a99

Dati

Tabella A.1. A99 highway's raw psc, mln €

	2003	2004	2005 - 2008	2009	2010	2011 - 2032
Progettazione	34.884	-	-	-	-	-
Acq.ne terreni	113.374	113.374	-	-	-	-
Cantiere	7.412	7.412	7.412	-	-	-
Costruzione	229.800	229.800	229.800	-	-	-
Beni non rev.	21.179	21.179	21.179	-	-	-
Altri costi costr.	1.491	1.491	1.491	-	-	-
Man. ord.	-	-	-	-	-	23.129
Man. straord.	-	-	-	-	4.725	4.725
Beni consumo	-	-	-	1.199	1.199	1.199
Personale	-	-	-	11.090	11.090	11.090
Servizi	-	-	-	13.188	13.188	13.188
Altri costi	-	-	-	5.059	5.059	5.059
Amm.ve gen.li	-	-	-	4.400	4.400	4.400

Tabella A.2. A99 highway's raw psc grouped and discounted, mln €

	2003	2004	2005 - 2008	2009	2010	2011 - 2032
Progettazione	34.884	-	-	-	-	-
Acq.ne terreni	113.374	110.609	-	-	-	-
Cantiere	7.412	7.231	27.204	-	-	-
Costruzione	229.800	224.195	843.416	-	-	-
Beni non rev.	21.179	20.662	77.732	-	-	-
Altri costi costr.	1.491	1.455	5.472	-	-	-
Man. ord.	-	-	-	-	-	326.215
Man. straord.	-	-	-	-	3.975	66.642
Beni consumo	-	-	-	948	925	15.500
Personale	-	-	-	9.562	9.329	156.401
Servizi	-	-	-	11.372	11.095	186.006
Altri costi	-	-	-	4.362	4.256	71.353
Amm.ve gen.li	-	-	-	3.793	3.701	62.044

Tabella A.3. A99 non-discounted risk

-	-	% Var.	% Occ.
Necessità di modifiche al progetto	Inferiori al previsto	-	-
	Come previsto	-	24,0
come % spese progett.ne	Modifiche lievi	20,0	31,0
	Modifiche moderate	60,0	25,0
	Modifiche significative	80,0	20,0
Incremento dei costi dovuto all'acquisizione dei suoli	Inferiori al valore previsto	3,0	-
	Uguali al valore previsto	-	22,0
come % spese per terreni	Incremento leggero	8,0	20,0
	Incremento moderato	12,0	28,0
	Incremento considerevole	15,0	30,0

Tabella A.4. A99 non-discounted risk

-	-	% Var.	% Occ.
Incremento dei costi dovuto alle condizioni del sito come % dei costi cantiere	Inferiori al valore previsto	-	-
	Uguali al valore previsto	-	22,0
	Incremento leggero	8,0	20,0
	Incremento moderato	12,0	28,0
	Incremento considerevole	15,0	30,0
Errata previsione dei costi di costruzione come % dei costi costr.ne	Inferiori al valore previsto	-10,0	1,0
	Uguali al valore previsto	-	10,0
	Incremento leggero	10,0	44,0
	Incremento moderato	20,0	38,0
	Incremento considerevole	30,0	7,0
Errata previsione dei tempi di costruzione come % dei costi costr.ne	Inferiori al valore previsto	-5,0	5,0
	Uguali al valore previsto	-	20,0
	Ritardo leggero (<1 anno)	7,0	25,0
	Ritardo moderato (tra 1 e 2)	12,0	20,0
	Ritardo considerevole (oltre 2)	15,0	30,0
Rischio burocratico come % altri costi costr.ne	Inferiori al valore previsto	-	-
	Uguali al valore previsto	-	25,0
	Incremento leggero	2,0	35,0
	Incremento moderato	7,0	25,0
	Incremento considerevole	10,0	15,0
Incorretta stima dei costi di gestione e man. ordinaria come % spese manut.ne ordinaria	Inferiori al valore previsto	-	-
	Uguali al valore previsto	-	-
	Incremento leggero	-	30,0
	Incremento moderato	8,0	35,0
	Incremento considerevole	4,0	25,0
	Ritardo considerevole (oltre 2)	12,0	10,0

Tabella A.5. A99 non-discounted risk

-	-	% Var.	% Occ.
Variazione costi di manut.ne straordinaria per i periodi 0 - 11 come % del costo	Inferiori al valore previsto	-	-
	Uguali al valore previsto	-	35,0
	Incremento leggero	10,0	30,0
	Incremento moderato	20,0	25,0
	Incremento considerevole	30,0	10,0
	Ritardo considerevole (oltre 2)	-	-
Variazione costi di manut.ne straordinaria per i periodi 12 - 32 come % del costo	Inferiori al valore previsto	-	35,0
	Uguali al valore previsto	10,0	26,0
	Incremento leggero	20,0	27,0
	Incremento moderato	30,0	12,0
	Incremento considerevole		

Risultati

SOLUZIONE DOPO 10 ORE

fee 765841.3467295737

```
th [[-0.0313977  0.      0.      0.      0.      0.      ]
     [-0.06480472 -0.189687  0.      0.      0.      0.      ]
     [-0.11996738  0.01605889 -0.15236291  0.      0.      0.      ]
     [-0.15535747  0.02975686  0.10095623  0.      0.      0.      ]
     [ 0.18534581 -0.19443292  0.07740799  0.      0.      0.      ]
     [ 0.19827451  0.04136152 -0.07500456  0.      0.      0.      ]
     [ 0.      0.      0.      0.      0.      0.03649873]
     [ 0.      0.      0.      0.      0.1888945 -0.13301802]
     [ 0.      0.      0.     -0.06929165  0.10004409 -0.11054802]
     [ 0.      0.      0.     -0.12668247  0.16130077 -0.02354221]
     [ 0.      0.      0.      0.18974035 -0.03506885 -0.0646551 ]
     [ 0.      0.      0.      0.05313027  0.17761577 -0.19812362]
     [ 0.      0.      0.      0.19940771 -0.08984535 -0.01143681]]
```

```
pnlt [[ 1  0  0  0  0  0  0]
       [109 77  0  0  0  0]
       [ 3  5 17  0  0  0]
       [148 175 285  0  0  0]
       [ 6 14  5  0  0  0]
       [ 0  0  0  0  0  0]
       [ 0  0  0  0  0 291]
       [ 0  0  0  0  1  7]
       [ 0  0  0  0  0 13]
       [ 0  0  0  6  7 108]]
```

```
[ 0 0 0 7 6 75]
[ 0 0 0 4 0 60]
[ 0 0 0 3 0 28]]
```

```
Rpc [[99]
[58]
[ 8]
[81]
[51]
[54]
[51]
[61]]
```

SOLUZIONE DOPO 5 ORE

```
fee 765841.3467295737
```

```
th [[-0.0313977 0. 0. 0. 0. 0. ]
[-0.0478546 -0.189687 0. 0. 0. 0. ]
[-0.17074015 -0.03074648 -0.07290495 0. 0. 0. ]
[-0.15535747 0.08477163 0.10095623 0. 0. 0. ]
[ 0.18501111 -0.16833723 0.07740799 0. 0. 0. ]
[ 0.19827451 0.09993691 -0.08176381 0. 0. 0. ]
[ 0. 0. 0. 0. 0. 0.03649873]
[ 0. 0. 0. 0. 0.19492189 -0.13301802]
[ 0. 0. 0. -0.06929165 0.10004409 -0.10502587]
[ 0. 0. 0. -0.13997989 0.16130077 -0.01959353]
[ 0. 0. 0. 0.18974035 0.08219147 -0.0646551 ]
[ 0. 0. 0. 0.08972738 0.18708057 -0.15359017]
[ 0. 0. 0. 0.19940771 -0.04987945 -0.01143681]]
```

```
pnlt [[ 1 0 0 0 0 0]
[108 77 0 0 0 0]
[ 3 6 18 0 0 0]
[148 175 312 0 0 0]
[ 12 13 5 0 0 0]
[ 0 0 0 0 0 0]
[ 0 0 0 0 0 257]
[ 0 0 0 0 1 7]
[ 0 0 0 0 0 13]
[ 0 0 0 6 6 119]]
```

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 8 & 8 & 52 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 60 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 32 \end{bmatrix}$$

Rpc [[96]

[58]

[3]

[81]

[55]

[54]

[51]

[43]]

Appendice B

Precedente modello basato sul ks-test

Il modello

Il modello, nell'ottica di costituire un reale supporto agli utilizzatori, prova a riprodurre fedelmente alcuni parametri essenziali di un PSC nel genotipo dell'amministrazione. In primis, si definisce il vettore delle attività J ¹, quindi la matrice dei flussi di cassa F previsti per ciascuna attività a in ciascun periodo di convenzione t . I flussi rappresentano l'esborso dell'operatore verso terzi affinché un'attività venga eseguita a regole d'arte in assenza di esternalità e di fattori esogeni. Qualora l'opera sia calda e preveda remunerazioni da parte di soggetti diversi dalla stazione appaltante, è possibile rappresentare gli introiti tramite un flusso positivo. A ciascuna attività, per ciascun anno, è altresì associata una percentuale di ripartizione del rischio che si assume l'amministrazione, PAR .

$F_{a,t}$ = flusso di cassa dell'OP per l'attività a nel periodo t

$PAR_{a,t}$ = % di assunzione del rischio della PA per l'attività a nel periodo t

L'operatore può alterare a piacere i flussi previsti della PA, spendendo meno o più del preventivato. Tale variazione si rappresenta con una matrice di *costi di effort* E , che rappresenta la variazione rispetto a F . La variazione può determinare una sensibile diminuzione -o incremento- di qualità nel conseguire il risultato dell'attività, ma ne deve comunque garantire la conclusione nei tempi previsti. L'utilizzatore può definire, per ciascun task, un range di variazione attendibile affinché ciò sia rispettato. Un costo di effort negativo rappresenta un'attività non eseguita a regola

¹Esempi di attività sono la progettazione dell'edificio, costruzione muri, manutenzione dell'impianto elettrico, potatura delle aree verdi...

d'arte, che, di norma, determina il rincaro di task successivi o il peggioramento di uno o più KPI.

$E_{a,t}$ = % costo di effort dell'operatore per l'attività a nel periodo t

$$E_{a,t} \in [E_{a,t}^{min}, E_{a,t}^{max}]$$

Il canone concessorio CF, anch'esso dipendente dal periodo, rappresenta un esborso predeterminato della PA nei confronti dell'Operatore. Se non è soggetto ad ottimizzazione, e se l'utilizzatore non è interessato alla bancabilità dell'operazione, diviene un addendo fisso non significativo per la simulazione e può essere trascurato.

CF_t = canone concessorio per il periodo t

I KPI sono lo strumento dell'amministrazione per monitorare il buon andamento del processo. Si può definire un insieme K di dimensione arbitraria di KPI, il cui valore in un certo periodo t è pari al risultato di una funzione $f_{k,t}^{kpi}$. La funzione prende in input i costi di effort di ciascuna attività, dal periodo 0 fino a t ².

$$KPI_{k,t} = f_{k,t}^{kpi}((E + F)_{\alpha,\tau} \quad \alpha \in A, \tau \in [0, t])$$

Per ciascun KPI, in ciascun periodo, l'Amministrazione può definire un importo ed una soglia di penalità monetaria, ed un importo e una soglia di incentivo monetario, rispettivamente: $MP_{k,t}^{th}$, $MP_{k,t}^v$, $MI_{k,t}^{th}$, $DI_{k,t}^v$. L'importo delle penalità e degli incentivi monetari da comminare per ciascun anno per un certo kpi si ottiene confrontando il livello di servizio effettivo $KPI_{k,y}$ con il livello di servizio previsto dalla PA, ottenibile calcolando la funzione f^{kpi} con una matrice di costi di effort nulla E_θ :

$$KPI_{k,t}^\theta = f_{k,t}^{kpi}((E + E_\theta)_{\alpha,\tau} \quad \alpha \in [0, A], \tau \in [0, t])$$

$$F_{k,t}^{mon} = \begin{cases} -MP_{k,t}^v & \text{if } KPI_{k,t}^\theta - KPI_{k,t} > MP_{k,t}^{th} \\ MI_{k,t}^v & \text{if } KPI_{k,t} - KPI_{k,t}^\theta > MI_{k,t}^{th} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Penalità e incentivi monetari si intendono attribuiti nell'anno in cui sono calcolati ³. Analogamente si possono definire soglie ed importi per incentivi di durata, $DI_{k,y}^{th}$

²Il KPI ideale si crea tramite la funzione identità, che fornisce all'amministrazione il reale flusso di cassa dell'operatore ai fini di garantire una realizzazione ad opera d'arte. Si noti che il flusso totale dell'operatore per un certo task è influenzato, oltre che dalla necessità di sviluppare un'opera a regola d'arte, anche dalle eventuali esternalità o dai fattori esogeni discussi in seguito. Il KPI non monitora *quanto l'operatore spende*, bensì *quanto l'operatore spende affinché l'opera sia buona*. Un incremento dei flussi per fronteggiare un imprevisto o calmierare gli esiti di un risparmio precedente non sono misurati dal KPI.

³Per giudicare un lavoro pregresso è sufficiente adattare in modo opportuno la f, sostituendo ogni $E[k,t]$ con $E[k,t-\delta]$ con δ a piacere.

e $DI_{k,y}^v$, che costituiscono un prolungamento dei tempi di concessioni concordati in funzione dei risultati ottenuti ⁴. Gli incentivi di durata confluiscono in un unico contatore, DI, che viene incrementato nell'arco della convenzione:

$$DI = \sum_{\tau=0}^t \sum_{\kappa=1}^k \begin{cases} DI_{k,t}^v & \text{if } KPI_{k,t}^\theta - KPI_{k,t} > DI_{k,t}^{th} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ogni effort può produrre un'esternalità, ovvero un incremento -o decremento- dei costi per lo svolgimento a regola d'arte delle attività successive. Solitamente, l'esternalità è direttamente correlata al costo di effort. Viene definita una matrice Ext, di dimensione pari alla matrice dei flussi, i cui valori sono popolati grazie a funzioni di esternalità. Ogni attività riceve esternalità nella misura stabilita dalla funzione f_a^{ext} , funzione definita dall'utilizzatore. Le funzioni accettano per parametro la matrice degli effort, troncata al periodo per cui si sta calcolando l'esternalità ⁵.

$$Ext_{a,t} = f_a^{ext}(E_{\alpha,\tau} \mid \alpha \in A, \tau \in [0, t])$$

⁴Le condizioni di conduzione di un PPP sono, per loro natura, peggiori di quanto potrebbe negoziare la PA per la sola conduzione, dato che l'operatore deve ammortizzare i costi ed i rischi degli investimenti di progetto. Risulta quindi conveniente per un Operatore condurre l'opera oltre il periodo concordato. Dal punto di vista dell'efficacia, un incentivo di durata potrebbe facilmente sostituirsi con uno economico, ma la PA potrebbe non disporre del budget necessario ad erogarlo. Viceversa, un prolungamento del rapporto, per quanto rappresenti in termini assoluti uno svantaggio, non peggiora i bilanci della PA, ma semplicemente prolunga una situazione esistente che -se ben calcolata in fase di capitolato- è economicamente sostenibile. Si è ritenuto interessante approfondire questa opportunità, sebbene non sempre prevista dalla normativa (e talvolta vietata, come in Italia), per la frequenza del ricorso al PPP proprio da parte di amministrazioni altamente indebitate. In prima approssimazione lo svantaggio assoluto della PA non viene tenuto in considerazione.

⁵Le funzioni di esternalità devono essere modellate da esperti del dominio, e migliorano le previsioni del sistema quanto più sono precise. E' possibile ricondurre il calcolo delle esternalità al modello di Martimort e Pouyet di cui alla 1.2 identificando un'opportuna funzione Ψ_a che, dato un effort e per l'attività a, restituisce il relativo costo di effort per la medesima attività E_a

$$E_{a,t} = \Psi_a(e_{a,t})$$

quindi, assumendo che l'attività a1 svolta nell'anno t riceve esternalità dall'attività a2 svolta nell'anno t-1 con coefficiente λ si ottiene

$$f_{a1,t}^{ext}(E) = \Psi_{a2}^{-1}(E_{a2,t-1}) * \lambda$$

.

Parametri e genotipi

Costituiscono input del problema la durata del contratto T , le attività A , i flussi previsti F , i limiti dei costi di effort per ciascun periodo ed attività $E_{a,t}^{max}$ e $E_{a,t}^{min}$, il tasso di interesse a cui accede l'operatore T_{op}^{int} . Il modello può essere modificato con semplicità qualora si vogliano introdurre altri limiti.

Il genotipo dell'operatore coincide con il suo fenotipo, ovvero la matrice degli effort E , di dimensioni $A \times T$.

Il genotipo dell'Amministrazione è formato da una serie di cromosomi. Un primo vettore chr^B di lunghezza massima MAX_BUCKET arbitrariamente definibile tra 1 e T , rappresenta le dimensioni di ciascun *bucket* b , ovvero periodi in cui le regole di concessione non cambiano. Settando $MAX_BUCKET = 1$ si ottengono le stesse regole per tutto l'arco della convenzione. $YEAR_LIMIT$ rappresenta quanti periodi può ricomprendere al più un bucket.

$$chr_b^B \in [0, YEAR_LIMIT] \quad \forall b \in [0, MAX_BUCKET]$$

Ciascun periodo appartiene quindi ad un bucket secondo la logica:

$$Bucket(t) = \begin{cases} b & \text{if } t < \sum_{\beta=0}^b (chr_{\beta}^B) \\ MAX_BUCKET-1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

di conseguenza, se $MAX_BUCKET * YEAR_LIMIT < T$, $YEAR_LIMIT$ viene ignorato nell'ultimo bucket per raggiungere la fine del periodo di contratto.

Il successivo gruppo di cromosomi chr_t^{CF} , opzionale, rappresenta il canone di concessione per ciascun periodo t qualora questo sia oggetto di ottimizzazione. E' pari al fenotipo, ed è positivo e limitato superiormente da un importo arbitrariamente grande MAX_EURO .

Penalità e premialità monetarie sono codificate con un vettori di lunghezza pari al numero di KPI moltiplicato il numero di bucket:

$$\begin{aligned} MP_{k,t}^{th} &= chr_i^{MPTH} & MP_{k,t}^v &= chr_i^{MPV} \\ MI_{k,t}^{th} &= chr_i^{MITH} & MI_{k,t}^v &= chr_i^{MIV} \\ DI_{k,t}^{th} &= chr_i^{DITH} & DI_{k,t}^v &= chr_i^{DIV} \end{aligned}$$

ciascun indice i dei cromosomi si ottiene in funzione del bucket e del kpi corrispondente:

$$i(k, t) = Bucket(t) * num(kpi) + k$$

Sia le soglie che i valori, nuovamente, spaziano negli interi positivi, e posso essere limitati da un massimale alto a piacere.

Segue una matrice di cromosomi chr^{PARisk} , che rappresenta la percentuale di rischio che l'Amministrazione si assume in un certo bucket per una certa attività.

$$PAR_{a,t} = chr_{a,b}^{PARisk}, \text{ con } b = Bucket(t)$$

Fattori esogeni

Dalla 1.2, il valore reale di un'opera dipende solo parzialmente dall'impegno economico dell'operatore nel svolgerla. La spesa reale per completare un'azione a regola d'arte è pari a:

$$RF_{a,t} = F_{a,t} + Exo_{a,t}$$

in presenza di fattori esogeni negativi l'operatore dovrà adottare un costo di effort pari a $E_{a,t} = -Exo_{a,t}$ con $E_{a,t} > 0$ per raggiungere il livello prestabilito dall'amministrazione. Ciascun $Exo_{a,t}$ è la realizzazione di una variabile casuale con distribuzione definita dall'utilizzatore, a media zero ⁶, tipicamente distribuita secondo una normale troncata.

Valutazione delle soluzioni

L'amministrazione è interessata a far sì che il cittadino riceva il miglior servizio possibile al minor prezzo possibile. Quantificando in termini monetari la qualità del servizio offerto, assumendo che corrisponda alla somma dei *costi di effort*, è possibile determinare un contributo alla funzione obiettivo dell'amministrazione espressa in unità monetarie per l'anno t:

$$L_{pa}(t) = \sum_{\alpha=1}^A E_{\alpha,t} + \sum_{\kappa=1}^K F_{\kappa,t}^{mon} - CF_t + Risk_{pa}(t) \quad (B.1)$$

con

$$Risk_{pa}(t) = \sum_{\alpha=1}^A \begin{cases} PAR_{\alpha,t} * Exo_{\alpha,t} & \text{if } Exo_{\alpha,t} < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (B.2)$$

attualizzando gli importi si ottiene:

$$L_{pa}^* = \sum_{\tau=1}^T L_{pa}(t) / (1 + i_a)^\tau \quad (B.3)$$

con i_a pari al tasso di attualizzazione. La funzione così definita tiene conto del costo dell'effort dell'operatore ⁷, della parte di maggiori costi derivati da fattori esterni

⁶Se la media della variabile casuale generatrice di $E_{a,t}$ è diversa da zero, si può spostare il contributo su $F_{a,t}$.

⁷Si potrebbe complicare a piacere il modello interponendo una certa funzione f che dato il costo di effort restituisca in modo preciso il valore aggiunto per la società, ad esempio pesando maggiormente gli effort sulle attività di maggior interesse. Il modello può comunque orientare le scelte dell'effort dell'operatore tramite i kpi e le conseguenti premialità/penalità: a parità di effort complessivo, quindi di social value, il privato opterà per i capitoli più remunerativi

non imputabili a nessuna delle parti ⁸, delle penalità comminate e degli incentivi distribuiti, dei canoni concessori erogati. Si noti che la PA in questo caso non è minimamente interessata al buon andamento delle casse dell'operatore, ma punta semplicemente a fornire il miglior servizio possibile pagandolo il meno possibile. Contesti di questo tipo presenterebbero sanzioni elevatissime per ogni disservizio, premi assenti o di valore inferiore allo sforzo per ottenerli, un canone concessorio ridotto al minimo di simulazione, l'assunzione di una percentuale nulla di rischio. L'esito sarebbe il fallimento dell'operatore e la non bancabilità dell'operazione, che potrebbe far ricadere la PA negli scenari di responsabilità solidale ed ingiustificato arricchimento discussi in precedenza. E' quindi necessario tener conto che il debito residuo dell'operatore a termine contratto, $DEBT_{T+1}$, potrebbe ricadere sulla PA, e che, in generale, uno scenario del genere si porta dietro problemi e costi. Si modifica quindi la funzione obiettivo come segue:

$$L_{pa} = \begin{cases} L_{pa}^* & \text{if } DEBT_{T+1} = 0 \\ L_{pa}^* - f(DEBT_{T+1}) & \text{if } DEBT_{T+1} > 0 \end{cases} \quad (B.4)$$

dove f , monotona crescente, rappresenta il costo di ripagamento del debito aumentato dei costi amministrativi, legali, politici qualora si incorra nel fallimento dell'operatore ⁹.

L'operatore è interessato al maggior guadagno, di conseguenza a minimizzare costi e penalità e massimizzare premi monetari e, qualora il suo bilancio sia sano, ad aumentare la durata. Si può definire un contributo alla funzione obiettivo per ciascun periodo t :

$$L_{op}^*(t) = - \sum_{\alpha=1}^A (E_{\alpha,t} + F_{\alpha,t}) - \sum_{\kappa=1}^K F_{\kappa,t}^{mon} + CF_t + Risk_{op}(t) \quad (B.5)$$

con

$$Risk_{op}(t) = \sum_{\alpha=1}^A \begin{cases} (1 - PAR_{\alpha,t}) * Exo_{\alpha,t} & \text{if } Exo_{\alpha,t} < 0 \\ Exo_{\alpha,t} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (B.6)$$

Il modello sinora definito non consente all'operatore di fare debito. Si definisce $DEBT$ pari al debito residuo dell'operatore, con $DEBT_t$ pari al suo valore nell'anno t . Tramite algoritmo, è possibile definire $L_{op}^*(t)$, contributo alla funzione obiettivo che tiene conto dell'eventuale debito contratto nell'anno:

⁸Anche in questo caso si potrebbe rendere il modello più preciso quantificando, per ciascuna azione, un corrispondente *vizio d'informazione*, che rappresenta la possibilità per l'operatore di ingannare l'amministrazione, attribuendo i maggiori costi provenienti da esternalità (ovvero da precedenti azioni svolte da essi stesso non a regola d'arte) ai fattori esogeni.

⁹Nel caso più cautelativo, $f(x) > x \forall x$

```

DEBT  $\leftarrow$  0
for each  $\tau$  do
   $L_{op}^*(t) \leftarrow L_{op}^t - DEBT$ 
   $DEBT \leftarrow 0$ 
  if  $L_{op}^*(t) < 0$  then
     $DEBT \leftarrow DEBT + L_{op}(t)$ 
  end if
   $DEBT \leftarrow DEBT * i_t$ 
end for

```

con i_t pari al tasso di interesse a cui accede l'operatore. Rispetto agli incentivi di durata, si può assumere in prima approssimazione che il periodo supplementare riproduca fedelmente ciò che accade nell'ultimo periodo di convenzione, T . Si ottiene quindi:

$$L_{op}^* = \sum_{\tau=1}^T L_{op}^*(\tau)/(1+i_a)^\tau + DI * L_{op}(T-1)/(1+i_a)^{T+1} \quad (B.7)$$

analogamente all'amministrazione, si deve considerare la possibilità che rimanga debito residuo. Per un operatore sempre e comunque disinteressato a fallire, si può definire:

$$L_{op} = \begin{cases} L_{op}^* & \text{if } DEBT_{T+1} = 0 \\ zero & \text{if } DEBT_{T+1} > 0 \end{cases} \quad (B.8)$$

dove con *zero* si intende un valore a piacere, dipendente dal contesto, sufficientemente piccolo affinché risulti meno conveniente di qualsiasi risultato sensato di simulazione. Il comportamento dell'operatore in questo modo consisterà nel *far tutto il possibile* per non fallire, ovvero fallirà solo se il capitolato, cioè il fenotipo dell'amministrazione, non è economicamente sostenibile.

Comparazione

La dinamica del confronto rispecchia quella di simulazione: la pubblica amministrazione definisce un genotipo, vengono generati un certo numero di mondi W caratterizzati da realizzazioni differenti dei fattori esogeni, e per ciascun mondo l'operatore, a sua volta, cercherà di esprimere un fenotipo ottimo. Il confronto dal punto di vista dell'operatore avviene quindi "a valle" delle operazioni, quando l'amministrazione ha già espresso un certo chr^{pa} ed i fattori esogeni Exo sono realizzati. Per confrontare due genotipi dell'operatore chr_1^{op} e chr_2^{op} si applica due volte la funzione obiettivo L_{op} :

$$BestOp = \begin{cases} 1 & \text{if } L_{op}(chr^{pa}, Exo, chr_1^{op}) > L_{op}(chr^{pa}, Exo, chr_2^{op}) \\ 2 & \text{if } otherwise \end{cases}$$

Diversa situazione per l'amministrazione, che nel definire il genotipo non conosce alcunché. Con un singolo genotipo, per ciascun mondo generato, si può calcolare

un diverso risultato della funzione obiettivo, formando un insieme di soluzioni di numerosità pari a W . A due genotipi equivalgono due insiemi, confrontabili con una funzione a piacere. La media aritmetica risulterebbe:

$$L_{pa}^i = \frac{\sum_{w=1}^W L_{pa}(chr_i^{pa}, Exo(w), chr_{best}^{op}(w))}{W}$$

onde evitare il confronto tra campionamenti che risultino, sotto una certa approssimazione, appartenenti ad una stessa soluzione, si esegue il *test di Kolmogorov-Smirnov* tra i due insiemi, aumentando i campioni di conseguenza.

```

while true do
  for i=0 to n do
     $L_{pa}^1$  push  $L_{pa}(chr_1^{pa} \dots)$ 
     $L_{pa}^2$  push  $L_{pa}(chr_2^{pa} \dots)$ 
  end for
  if KolmogorovSmirnovTest( $L_{pa}^1, L_{pa}^2$ ) < p then
    break
  end if
end while

```

quindi, analogamente:

$$BestPa = \begin{cases} 1 & \text{if } L_{pa}^1 > L_{pa}^2 \\ 2 & \text{if otherwise} \end{cases}$$

L'amministrazione potrebbe voler tener conto, oltre che della media, del rischio di fluttuazioni all'interno della specifica soluzione. In tal senso si può semplicemente modificare la L_{pa}^i affinché in presenza di fenotipi che diano luogo a varianze troppo elevate, restituisca un valore *zero* minore di qualsiasi risultato significativo per la simulazione.

Implementazione

L'algoritmo descritto è stato implementato in linguaggio *python*, testato su diversi casi-prova ed applicato ad un caso reale ben rappresentativo delle classiche caratteristiche del PPP ¹⁰. Tramite file di configurazione si consente all'utilizzatore di inserire i parametri del problema così come definiti nelle sezioni precedenti (flussi, funzioni di esternalità, funzioni di monitoraggio), e quelli di simulazione.

Configurazione dell'operatore

¹⁰Il listato è disponibile su [GitHub](#).

- **op-stop** (primo stop) numero massimo di iterazioni dopodiché la simulazione per l'operatore termine, restituendo il miglior risultato ottenuto sinora;
- **initial-step-mutation-op** numero di mutazioni al genotipo dell'operatore per ciascuna iterazione;
- **op-era** numero di iterazioni per ciascuna era;
- **op-era-thdown** soglia inferiore per determinare se un algoritmo sta agendo con mutazioni troppo ampie: se il numero di selezioni che portano a miglione è inferiore della soglia, il numero di mutazioni per iterazione dell'era successiva viene diminuito;
- **op-era-thup** soglia superiore per determinare se un algoritmo sta agendo in modo eccessivamente locale: se il numero di mutazioni che portano a miglione è superiore alla soglia, il numero di mutazioni per iterazione dell'era successiva viene aumentato;
- **op-max-noimprovement-ere** (secondo stop) numero massimo di ere prive di alcuna iterazione che abbia portato a miglione dopo di cui la simulazione viene arrestata.

Configurazione della pubblica amministrazione

- **pa-stop** (primo stop), **initial-step-mutation-pa**, **pa-era**, **pa-era-thdown**, **pa-era-thup**, **pa-max-noimprovement-ere** (secondo stop): pari agli equivalenti dell'operatore;
- **Rbase** numero minimo di mondi generati realizzando le variabili casuali che modellano i fattori esogeni;
- **Rmax** terzo stop, numero massimo di mondi generati realizzando le variabili casuali che modellano i fattori esogeni;
- **confidence** parametro del *test di Kolmogorov-Smirnov* per determinare la possibile equivalenza di due soluzioni, con conseguente necessità di aumentare il numero di realizzazioni dei parametri casuali.

Autostrada A99

Il settore autostradale segue il modello discusso per quanto riguarda le esternalità. Singh, 2018 lega le maggiori spese di conduzioni a quelle di manutenzione, Bardaka et al., 2016 stimano i minori costi di conduzione quando il costruttore debba occuparsene in prima persona (Tabella B.1), definendo un risparmio annuo di 0.25 centesimi per ogni euro di maggior costo di effort in costruzione. In letteratura non

	Average construction cost	Average annual maintenance cost
	\$	\$
Build + Maint.	622'357	273
Build	458'875	338

Tabella B.1. Routes Agency Cost Estimation Results (Bardaka et al., 2016)

sono tuttavia presenti studi sulla forma ed i parametri della funzione in questione, e si ritiene altresì limitante una forma di interpolazione basata su questa statistica. Anche in questo caso, la qualità dell'output deriva dall'esperienza in materia dell'utilizzatore. Ai fini di questo esempio, si delinea una funzione che rispecchi alcune caratteristiche intuitive:

1. i costi di manutenzione straordinaria diminuiscono all'aumentare della qualità dell'opera;
2. un effort nullo non determina variazioni di costo;
3. sopra un certo livello di qualità, i costi di manutenzione rimangono stabili;
4. sotto un certo livello di qualità, i costi di manutenzione crescono rapidamente fino a tendere ad infinito.

Una funzione che rispecchi queste caratteristiche è:

$$y = \frac{1}{x+1} - 1$$

con x pari alla variazione percentuale dei costi di costruzione, ed y alla conseguente variazione percentuale dei costi di manutenzione. Formalmente:

$$\begin{cases} y = \frac{1}{x+1} - 1 \\ x = E_b/F_b \\ y = Ext_c(\tau)/F_c(\tau) \end{cases} \quad \forall \tau \text{ in } [2, T]$$

con, dati α l'attività di costruzione, β l'attività di manutenzione straordinaria, E_b l'effort di costruzione $[t = 1, a = \alpha]$, F_b il costo previsto di costruzione $F[t = 0, a = \alpha]$, Ext_c^α il contributo della costruzione all'esternalità ricevuta dalla manutenzione ordinaria $Ext[t = \tau, a = \beta]_\alpha$, F_c pari al flusso delle spese di manutenzione straordinaria $F[t = \tau, a = \beta]$. Di conseguenza:

$$Ext_{b \rightarrow sm}(\tau) = -\frac{E_b}{E_b + F_b} * F_c(\tau)$$

La manutenzione ordinaria (om) si può invece ritenere che sia costituita da verifiche e piccoli interventi di routine, non dipendenti dalla qualità della costruzione. E' possibile rimandarne parti di anno in anno, per al più un anno. Formalmente:

$$Ext_{om->om}^{\tau}(E) = \begin{cases} E[\tau - 1, a = om] & \text{if } E[\tau - 1, a = om] \leq 2 * F[t = 0, a = om] \\ \infty & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\forall \tau \text{ in } [2, T]$$

Parametri dell'operatore

Si analizzano i parametri dell'operatore *op-stop* e *op-max-noimprovement-ere* affinché la simulazione interna converga. In assenza di fattori esogeni, esternalità e penalità, l'operatore dovrebbe scegliere per ciascun task un effort pari al minimo. Come metro di misura, si calcola:

$$L_{op}^{min} = 12\,535 \text{ mln } \text{€} \text{ con } E_{a,t} = E_{a,t}^{min} \forall a, t$$

$$L_{op}^0 = 4\,052 \text{ mln } \text{€} \text{ con } E_{a,t} = 0 \forall a, t$$

$$L_{op}^{max} = -3\,063 \text{ mln } \text{€} \text{ con } E_{a,t} = E_{a,t}^{max} \forall a, t$$

Con l'inizializzazione $E_{a,t} = 0 \forall a, t$, eseguendo ripetutamente l'ottimizzatore, si tabulano i tempi ed i risultati in funzione dei parametri. L'accuratezza è pari al risultato diviso L_{op}^{max} . Si procede inizialmente con:

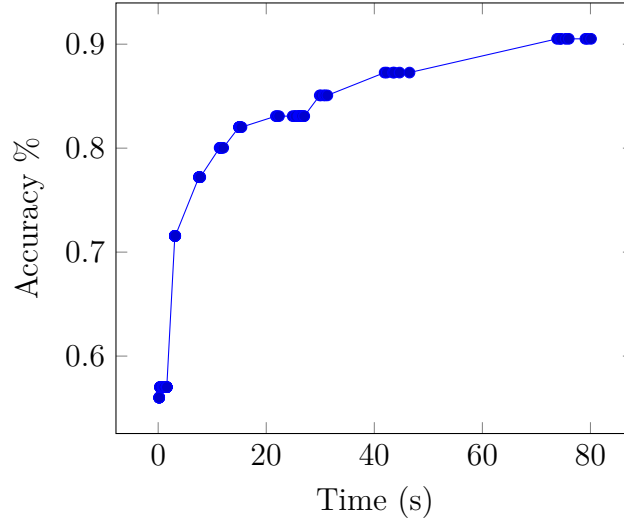
$$\text{op-stop} \in (1000, 2000, 5000, 10000, 20000, 50000, 100000)$$

$$\text{op-max-noimprovement-ere} \in (10, 20, 50, 100, 150)$$

Si nota che il risultato tende a saturare con $\text{op-max-noimprovement-ere} > 100$, si ripete quindi con:

$$\text{op-max-noimprovement-ere} \in (30, 40, 50, 60, 70, 90)$$

ottenendo:



Un trade-off tra precisione e tempi di simulazione ragionevoli suggerirebbe una coppia tra 20 e 40 secondi, con precisione 80-80%. Con un campionamento medio di 100 mondi, risulterebbe un singolo step della PA superiore alla mezzora: inaccettabile ¹¹. Si opera quindi una modifica alla configurazione dell'operatore, introducendo il parametro **op-homo-periods**, vettore che identifica range temporali con comportamenti affini. Nell'esempio in questione il periodo con flussi più omogenei è quello di conduzione, che va dall'anno 2011 al 2032 inclusi. Si introduce nel genotipo dell'operatore:

$$VE_{a,o}^{omo} \text{ con } a \in A \text{ ed } o \in \text{op-homo-periods}$$

calcolando l'effort di conseguenza:

$$E_{a,t} = E_{a,t}^{\text{prev. step}} + V_{a,t} + VE_{a,o}^{omo} \forall a, t$$

con t che appartiene al periodo omogeneo o . Si ripete quindi la simulazione. Con:

$$\text{op-stop} \in (1000, 2000, 5000, 10000, 20000, 50000, 100000)$$

$$\text{op-max-noimprovement-ere} \in (30, 40, 50, 60, 70, 90)$$

si ottiene, già con **op-stop** = 1000 e **op-max-noimprovement-ere** = 10, un'accuratezza dell'82% in un tempo di 0,72s, riducendo, con l'esempio precedente, i tempi di uno step della PA a meno di due minuti. La precisione in rapporto al tempo rimane comunque insoddisfacente, motivi che hanno portato alla scrittura del modello successivo.

¹¹Si noti che in realtà i tempi tendono a diminuire via via che la simulazione avanza, dato che l'operatore recupera il suo precedente miglior effort per "sfidare" un nuovo capitolato della PA.

Tabella B.2. Tabulati parametri operatore vs tempo ed accuratezza

t	L	p.c.	t	L	p.c.	t	L	p.c.
0.18	7020	56	3.09	8970	72	21.99	10414	83
0.18	7020	56	3.09	8970	72	22.36	10414	83
0.19	7020	56	3.10	8970	72	24.89	10414	83
0.19	7020	56	3.12	8970	72	25.38	10414	83
0.19	7020	56	3.12	8970	72	25.42	10414	83
0.34	7147	57	3.13	8970	72	25.98	10414	83
0.35	7147	57	3.13	8970	72	26.07	10414	83
0.35	7147	57	3.14	8970	72	26.16	10414	83
0.35	7147	57	3.17	8970	72	26.19	10414	83
0.36	7147	57	7.55	9678	77	26.24	10414	83
0.80	7147	57	7.55	9678	77	26.32	10414	83
0.80	7147	57	7.57	9678	77	26.38	10414	83
0.83	7147	57	7.58	9678	77	26.44	10414	83
0.83	7147	57	7.60	9678	77	26.60	10414	83
0.85	7147	57	7.63	9678	77	26.97	10414	83
1.03	7147	57	7.63	9678	77	27.03	10414	83
1.04	7147	57	7.67	9678	77	29.90	10664	85
1.04	7147	57	7.72	9678	77	30.12	10664	85
1.04	7147	57	7.74	9678	77	30.66	10664	85
1.05	7147	57	7.79	9678	77	30.92	10664	85
1.05	7147	57	11.37	10032	80	31.31	10664	85
1.07	7147	57	11.49	10032	80	41.91	10939	87
1.08	7147	57	11.50	10032	80	42.30	10939	87
1.09	7147	57	11.65	10032	80	43.46	10939	87
1.56	7147	57	11.80	10032	80	43.68	10939	87
1.57	7147	57	12.04	10032	80	44.67	10939	87
1.57	7147	57	14.95	10281	82	46.51	10939	87
1.57	7147	57	14.99	10281	82	73.83	11346	91
1.57	7147	57	15.00	10281	82	74.37	11346	91
1.57	7147	57	15.01	10281	82	74.55	11346	91
1.58	7147	57	15.03	10281	82	75.43	11346	91
1.58	7147	57	15.05	10281	82	75.99	11346	91
1.58	7147	57	15.12	10281	82	79.07	11346	91
1.59	7147	57	15.22	10281	82	79.48	11346	91
1.59	7147	57	15.28	10281	82	80.11	11346	91
3.08	8970	72	15.42	10281	82			
3.09	8970	72	21.79	10414	83			

Bibliografia

- Amatucci, F., Pezzani, F. & Vecchi, V. (Cur.). (2009). *Le scelte di finanziamento degli enti locali* [OCLC: 606734566]. EGEA.
- Antellini Russo, F., Giamboni, L. & Zampino, R. (2021). IL PARTENARIATO PUBBLICO PRIVATO COME ESCAMOTAGE?
- Bardaka, E., Zhang, Z., Labi, S., Sinha, K. C. & Mannering, F. (2016). Statistical Assessment of the Cost Effectiveness of Highway Pavement Warranty Contracts. *Journal of Infrastructure Systems*, 22(3), 04016017. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)is.1943-555x.0000299](https://doi.org/10.1061/(asce)is.1943-555x.0000299)
- Britannica, E. (n.d.). Adverse selection | economics. Recuperato ottobre 15, 2021, da <https://www.britannica.com/topic/adverse-selection>
- D'Agostino, R. B. (1971). An omnibus test of normality for moderate and large size samples. *Biometrika*, 58(2), 341–348. <https://doi.org/10.1093/biomet/58.2.341>
- Dembe, A. E. & Boden, L. I. (2000). Moral Hazard: A Question of Morality? *NEW SOLUTIONS: A Journal of Environmental and Occupational Health Policy*, 10(3), 257–279. <https://doi.org/10.2190/1GU8-EQN8-02J6-2RXX>
- Eiben, A. E. & Smith, J. E. (2015). *Introduction to Evolutionary Computing* (2^a ed.). Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44874-8>
- Fortin, F.-A., De Rainville, F.-M., Gardner, M.-A., Parizeau, M. & Gagné, C. (2012). DEAP: Evolutionary Algorithms Made Easy. *Journal of Machine Learning Research*, 13, 2171–2175.
- Iossa, E. & Martimort, D. (2015). The Simple Microeconomics of Public-Private Partnerships: The Simple Microeconomics of PPP. *Journal of Public Economic Theory*, 17(1), 4–48. <https://doi.org/10.1111/jpet.12114>
- Iossa, E., Spagnolo, G. & Vellez, M. (2007). Contract design in public-private partnerships. *Report for the World Bank*.
- Iossa, E., Spagnolo, G. & Vellez, M. (2014). The Risks and Tricks in Public-Private Partnerships. *The Analysis Of Competition Policy And Sectoral Regulation* (pp. 455–489). World Scientific.
- Kreps, D. M. (1990). *A course in microeconomic theory*. Princeton University Press.

- Martimort, D., Menezes, F., Wooders, M., Iossa, E., MARTIMORT, D. et al. (2015). The Simple Microeconomics of Public-Private Partnerships. *Journal of Public Economic Theory*, 17(1), 4–48.
- Martimort, D. & Pouyet, J. (2008). To build or not to build: Normative and positive theories of public–private partnerships. *International Journal of Industrial Organization*, 26(2), 393–411. <https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2006.10.004>
- Martiniello, u. (2005). *Il calcolo del public sector comparator nel settore dei trasporti stradali* [OCLC: 1260488508]. RIREA.
- Mas-Colell, A., Whinston, M. D. & Green, J. R. (1995). *Microeconomic theory*. Oxford University Press.
- Singh, R. (2018). Public–private partnerships vs. traditional contracts for highways. *Indian Economic Review*, 53(1-2), 29–63. <https://doi.org/10.1007/s41775-018-0032-0>
- Corte dei Conti Europea. (2018). *Partenariati pubblico-privato nell'UE: carenze diffuse e benefici limitati*. https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR18_09/SR_PPP_IT.pdf
- European PPP expertise center. (2011). *Una guida ai PPP*. https://www.eib.org/attachments/epc/epc_the_guide_to_guidance_it.pdf