

L'arte della comunicazione: dalla teoria dell'informazione allo Shannon-Fano Code

Benedetta Campanile¹

¹Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari, benedetta.campanile@uniba.it.

Abstract: A sincere friendship began between the Italian-American Robert Fano and Claude Shannon around a common theory, which had as its object Information as a representation of thought and a measurable object of communication. Shannon published his *A Mathematical Theory of Communication* in 1948, while Fano published *The Transmission of Information* a few months later in 1949. Fano and Shannon together conceived an advantageous technique for generating uniquely decodable codes to solve information transmission problems in noisy channels. Around the concepts of information, entropy, noisy channel, transmission codes, a group of researchers led by Robert Fano was created at the Massachusetts Institute of Technology and laid the foundations for the establishment of the MIT Computer Science & Artificial Intelligence Laboratory.

Keywords: Theory of Communication, Shannon-Fano Code, Information.

1. Comunicazione tra elettricità ed elettromagnetismo

Il contributo scientifico alla teoria della comunicazione rappresenta l'aspetto pubblico della grande amicizia e della sincera stima che nacquero tra l'ingegnere elettrico italo-americano Robert Fano (Torino, 1917-Naples, Florida, 2016) e il matematico Claude Shannon (1916-2001) (Rus, 2019, pp. 95-98; Campanile, 2019, p. 96). Il legame fu innescato dagli studi sui sistemi di comunicazione, che portarono entrambi gli scienziati a formalizzare, in modo differente, un metodo per misurare la quantità di intelligenza o informazione trasmessa da un canale. Dai primi del Novecento, infatti, quest'ultima aveva assunto un valore economico, perché i nuovi sistemi elettrici – telegrafo, radio, televisione –, consentivano di trasmettere a distanze sempre maggiori ed era diventata vitale per le comunicazioni aeree. A differenza dei loro predecessori, Fano e Shannon affrontarono questa misurazione non come un miglioramento tecnico, ma come una sfida teorica da vincere con le armi della scienza a loro familiari.

1.1. Dall'elettromagnetismo alla teoria dell'informazione

Robert Fano ricordava sempre nelle sue interviste che, appena laureato al Massachusetts Institute of Technology (MIT), cioè dal 1941, esule ebreo dall'Italia fascista, si trovò a insegnare gli argomenti di elettricità ed elettromagnetismo che lui stesso stava ancora imparando come ingegnere elettrico (Norberg, 1989; Campanile, 2013; Verdù, 2013). Infatti, il MIT, in linea con la sua mission, "Mens et Manus", erogava corsi di formazione secondo il programma governativo "Engineering, Science, and Management War Training", per tecnici specializzati, che sarebbero stati arruolati nell'Army e nell'industria di guerra, come esperti nell'uso delle nuove tecnologie belliche.

Dopo aver conseguito il Master in Ingegneria Elettrica del MIT e con una profonda esperienza di ricerca su radar e microonde nel Radiation Lab, Fano si interessò agli studi sulla misurazione dell'informazione incuriosito dalle incursioni nel suo studio del vicino di stanza, il matematico Norbert Wiener (1894-1964) (Fano, 1961, p. vii). Quest'ultimo entrava negli studi dei colleghi esclamando "Information is Entropy!" e

ne usciva senza dare spiegazioni (Verdù, 2013, p. 7). Il termine “entropia” non era completamente nuovo per chi, come avrebbe fatto osservare Shannon (Shannon, 1948, p. 393), era familiare con la seconda legge della termodinamica (principio di Boltzmann), ma era difficile applicarlo all’informazione. Un metodo di misurazione dell’informazione era stato già proposto da Ralph Hartley (1988-1970) in *Transmission of Information*, nel 1928, per i Bell Labs, e un altro era stato presentato al MIT, nel 1948, nella tesi di W. Tuller, *Theoretical Limitations on the Rate of Transmission of Information*, ma non avevano un impianto teorico solido e utilizzabile praticamente (Fano, 1961, p. 6).

L’ingegnere elettrico continuava a interrogarsi sul perché Wiener ripettesse quella frase. La risposta si palesò nella sua mente una mattina di marzo del 1948. Nel tragitto verso la stazione, in partenza per New York, infatti, egli realizzò che “la relazione tra entropia e informazione poteva dipendere dalla rappresentazione binaria dei messaggi” (Verdù, 2013, p. 7). Fano era diretto alla riunione annuale dell’Institute of Radio Engineers (IRE), oggi Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), dove, tra l’altro, avrebbe potuto incrociare Claude Shannon, il quale, secondo indiscrezioni del MIT, stava sviluppando una sorta di teoria della comunicazione. Il matematico, all’epoca ricercatore dei Bell Labs, era noto al MIT per la sua tesi di Master dalla quale era scaturito un metodo per usare la logica binaria di Boole per descrivere e progettare i circuiti a commutazione (Campanile, 2016, pp. 88-89).

Alla convention di New York, Robert si presentò a Shannon e ottenne di incontrarlo nonostante la nota riservatezza del matematico. Il giorno successivo, nel quartiere di ricerca dei Bell Lab a Murray Hill, l’ingegnere espose le sue considerazioni e impressionò positivamente il suo interlocutore. Scaturì da questo incontro l’ammissione che i loro risultati erano analoghi e nacque una reciproca ammirazione, riflessa, poi, anche nell’articolo di Shannon, sollecitato da Fano (Verdù, 2013, p. 7).

Shannon pubblicò *The Mathematical Theory of Information* a luglio del 1948. L’articolo apparve subito come una vera e propria teoria, con due teoremi che definivano i limiti per la rappresentazione e la trasmissione affidabile di informazione in un canale caratterizzato da presenza di rumore. Essi costituivano i fondamenti per il dimensionamento dell’architettura dei futuri sistemi di comunicazione e avrebbero modificato il modo di impostare la soluzione dei problemi di trasmissione dell’epoca. Infatti, la corretta ricezione dei segnali era spesso compromessa da disturbi dovuti a interferenze sulle linee telefoniche in rame oppure al rumore d’ambiente nelle trasmissioni radio aeree. Per aggirare il problema, l’emittente ricorreva spesso a costose soluzioni, come il reinvio più volte dello stesso messaggio.

Entrambi gli studiosi avevano compreso che la probabilità di ricevere correttamente un qualsiasi messaggio era connessa all’incertezza dovuta alla presenza di rumore nel canale e ne calcolarono il valore ricorrendo alla funzione distribuzione di probabilità. Questa impostazione matematica scelta da Shannon, spiegava Fano, era poco familiare agli ingegneri dell’epoca ed era giustificata dalla sua convinzione che i concetti matematici servissero a dare struttura e maggiore comprensione a quasi tutto (Chiu *et al.*, 2001, 20). Una visione che anche Robert condivideva, pur avendo ancora molto da imparare (Verdù, 2013, p. 7). La nuova teoria stravolgeva i convincimenti precedenti e cioè che per far arrivare correttamente un messaggio al suo destinatario bisognasse aumentare la potenza del canale o inviare consecutivamente lo stesso messaggio. Essa dimostrava, invece, che era la capacità del canale a stabilire il limite massimo di informazione che si poteva inviare in maniera affidabile.

Oltre a dare agli ingegneri uno strumento teorico per la costruzione di sistemi di comunicazione nuovi e più efficienti, l’articolo di Shannon fissò una rappresentazione grafica del Modello di Sistema di Comunicazione che sarebbe entrata nell’immaginario collettivo come metafora dell’atto comunicativo, esplicitazione delle relazioni esistenti tra i componenti di tutti i sistemi di comunicazione, da quelli fisici a quelli biologici (Fig. 1). Con questa descrizione ogni componente del sistema poteva essere esaminato e analizzato nella sua funzione in maniera specifica per migliorarne non solo la progettazione ma anche la relazione rispetto agli altri elementi.

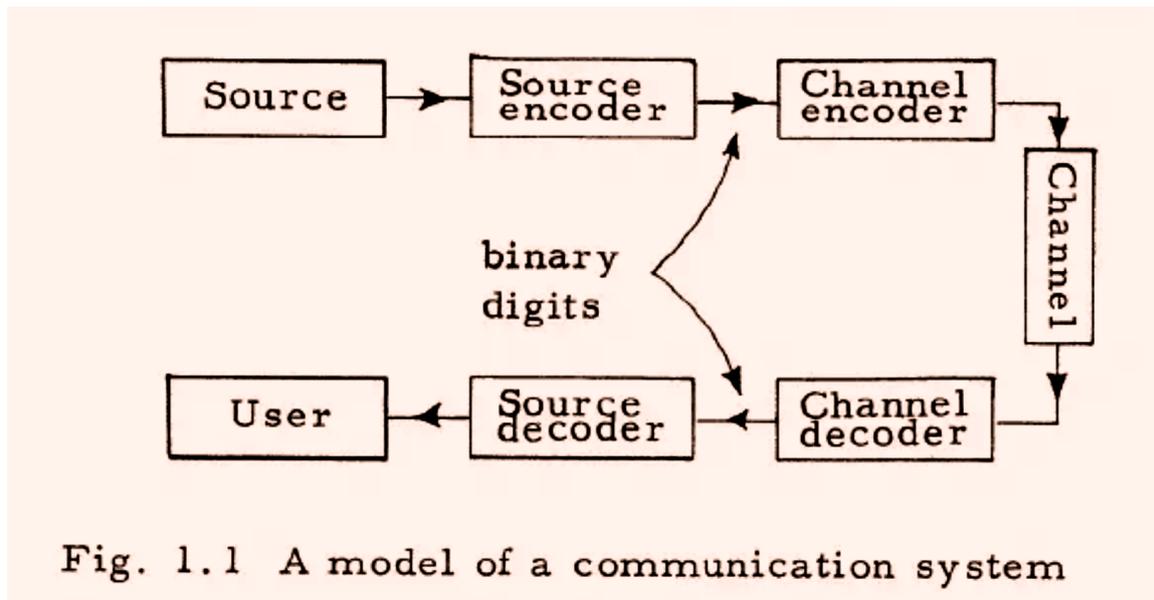


Fig. 1: Modello di un sistema di comunicazione (Fano, 1961, p. 2).

Alla diffusione di quest'immagine e allo sviluppo delle ricerche in diversi settori contribuì, però, la ripubblicazione dell'articolo a firma di Warren Weaver su "Scientific American", suggerita da Jerome Wiesner (1915-1994) con l'intento volutamente divulgativo. Weaver, matematico e responsabile delle ricerche della Rockefeller Foundation, non si limitò a spiegare la teoria di Shannon, ma la estese alla comunicazione umana, intendendo mostrare che quest'ultima comportava "tutti i modi in cui una mente può influenzarne un'altra" con un messaggio (Weaver, 1949, pp. 11-15). All'articolo, seguì il volume *A Mathematical Model of Communication*, 1949, scritto a quattro mani da Shannon e Weaver e il riscontro nella comunità scientifica si ampliò, coinvolgendo anche psicologi e linguisti.

2. The Trasmission of Information

A distanza di pochi mesi dall'articolo di Shannon anche Fano pubblicò i suoi risultati, *The Transmission of Information*, nella forma di due rapporti tecnici: Part I, *Technical Report n. 65*, il 17 marzo del 1949, e Part II, *Technical Report n. 149*, il 6 febbraio del 1950. La pubblicazione fu edita dal Research Laboratory of Electronics (RLE), il laboratorio che aveva ereditato l'attività e gran parte del personale del Rad Lab e nel quale ora Fano era incardinato. Il progetto, nello specifico, rientrava in un programma del MIT finanziato congiuntamente dall'Army Signal Corps, dal Navy Department (Office of Naval Research) e dall'Air Force (Air Materiel Command) (Fano, 1949).

Fondamentale, nel *Report n. 65*, era la definizione che Fano dava di unità d'informazione, intesa come selezione di una tra un numero N di scelte possibili con uguale probabilità di essere selezionate, che rappresentavano i possibili messaggi che il mittente poteva inviare e che il destinatario si aspettava di ricevere. Per determinare la quantità d'informazione corrispondente a tale selezione, Fano ipotizzava di ridurre la complessità dell'operazione a una serie di N selezioni elementari indipendenti. Allora, il numero richiesto di queste selezioni elementari sarebbe stato, per definizione, la misura in bit delle informazioni fornite da tale selezione di ordine N . Riducendo ulteriormente la complessità, ponendo N pari a potenze di due, allora si aveva il caso di un sistema basato su una codifica binaria dei messaggi (Fano, 1949, p. 4).

Una parte importante dell'articolo era dedicata alla procedura di ricodifica del messaggio per migliorare l'efficienza della trasmissione, riducendo, in media, il numero di cifre o impulsi necessari per trasmettere una sequenza di simboli di data lunghezza e dato carattere statistico. Infatti, generalmente

un messaggio era costituito da una lunga serie di selezioni indipendenti con uguali probabilità di scelta. In definitiva, Fano dimostrò che la quantità di informazione per una selezione binaria era funzione della probabilità delle altre scelte. In questo modo esplicitò il concetto di incertezza che legava l'informazione all'entropia e avallò il ruolo fondamentale della statistica nella misurazione dell'informazione.

3. La disuguaglianza di Fano

Per un canale di comunicazione con rumore, la cosiddetta Disuguaglianza di Fano forniva una stima dell'errore di decodifica del simbolo inviato. L'entropia condizionata rappresentava il rumore presente nel canale di trasmissione, cioè misurava la quantità d'informazione media persa nel canale (la probabilità d'errore nella decodifica di un simbolo ricevuto). Ciò esprimeva il fatto che, ogni volta che si elaboravano dei dati, diminuiva la quantità di informazione trasmessa e che, secondo il teorema di Shannon, in un evento certo, la quantità di informazione trasmessa era zero. Ma la disuguaglianza di Fano portava a un risultato anche più generale, perché forniva un limite inferiore alla probabilità di errore dei test di ipotesi equiprobabili. Infatti, "se i messaggi da trasmettere attraverso il canale non erano equiprobabili ma generati da una sorgente con entropia, allora una comunicazione affidabile (vale a dire, probabilità di errore nullo) era impossibile" (Verdù, 1998, p. 2064). Da questo risultato seguì anche la dimostrazione del teorema inverso della codifica di canale, che Shannon non aveva fornito.

In definitiva, usando il "bit" come unità minima di informazione per codificare un messaggio, la trasmissione digitale aveva prodotto un grande vantaggio: anche in presenza di rumore nel canale di trasmissione il segnale digitale poteva facilmente essere ricostruito nella sua forma iniziale. Ma, secondo Fano, il secondo teorema

faceva sperare in sviluppi ancora più importanti. Mi aspetto che uno sforzo considerevole sarà dedicato nel prossimo futuro all'analisi teorica dell'informazione dei sistemi di comunicazione che coinvolgono la propagazione ionosferica. Credo fermamente che questo lavoro porterà alla fine a una comunicazione a lunga distanza molto più affidabile insieme a un migliore utilizzo della banda di frequenza adatta a questi scopi. (Fano, 1954, p. 5)

Fano ricordava che in quel periodo l'attività dell'RLE era incentrata sul lavoro di Wiener sulla teoria della probabilità, *Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series: With Engineering Applications* (1949) e che quei concetti circolavano già nel Rad Lab dal 1942, come classified report per la Section D2 del National Defense Research Committee, perché erano parte del lavoro di ricerca militare nell'ambito del miglioramento della comunicazione radar. Infatti, "combinando idee di statistica e analisi di serie temporali, Wiener ha utilizzato il metodo di Gauss per modellare la caratteristica di un rilevatore per consentire il riconoscimento massimo dei segnali in presenza di rumore. Questo metodo è diventato noto come 'Filtro di Wiener'" (Verdù, 2013, p. 7).

Parlando ai non esperti, Fano ci teneva a sottolineare, con il suo linguaggio diretto, che l'innovazione dell'approccio matematico era rilevante, perché aveva permesso di abbandonare il concetto classico di funzione continua, usato convenzionalmente per descrivere un segnale, e lo aveva sostituito con quello di funzione discontinua, come la funzione salto. In particolare, una funzione con due soli valori, 0 e 1, consentiva di stabilire un'analogia con il funzionamento logico dei circuiti a commutazione. Si stabiliva, così, che "la natura dell'informazione non era continua ma discreta" (Fano, 1949, p. 2).

In questo concetto stava tutta la transizione dell'arte della comunicazione, intesa come tecnica, in scienza. Infatti, da questo momento non si considerava più oggetto della trasmissione un'onda con frequenze diverse, ma un dato, che veniva convertito in segnale all'ingresso di un canale di trasmissione, e riconvertito in dato alla ricezione per consegnarlo al destinatario. Il codice utilizzato nella conversione determinava la velocità e l'affidabilità della transmission.

L'adozione del "bit", termine con il quale Shannon aveva familiarizzato nell'ambiente dei Bell Labs,

| <u>Messages</u> | <u>Probabilities</u> | <u>Code Words</u> |
|-----------------|----------------------|-------------------|
| u_1 | 0. 25 | 0 0 |
| u_2 | 0. 25 | 0 1 |
| u_3 | 0. 125 | 1 0 0 |
| u_4 | 0. 125 | 1 0 1 |
| u_5 | 0. 0625 | 1 1 0 0 |
| u_6 | 0. 0625 | 1 1 0 1 |
| u_7 | 0. 0625 | 1 1 1 0 |
| u_8 | 0. 0625 | 1 1 1 1 |

Fig. 3. 2. Optimum set of code words

Fig. 2: *Optimum set of code words* (Fano, 1959, p. 361).

fece sì che il concetto di digitale diventasse un'alternativa reale all'analogico. E questo cambiamento riguardò non solo la costruzione di strumenti di calcolo come i computer digitali, che sostituirono il modello analogico usato durante la guerra, cioè l'Analizzatore differenziale (1931) di Vannevar Bush. Esso coinvolse anche la progettazione e realizzazione dei sistemi di comunicazione, uniformando tra loro questi sistemi.

La nozione di discontinuità scardinò, così, l'egemonia del concetto di continuità, che aveva caratterizzato e dominato la cultura vittoriana. Essa dette nuovo senso e valore a categorie come distanza e differenza, che potevano riferirsi all'ambito matematico ma anche a quello sociale e delle scienze naturali, se alla differenza tra valori numerici si sostituiva quella tra classi sociali o generi o razze o religioni. È interessante notare, infatti, che, nello stesso periodo in cui emergeva la teoria della informazione, stava iniziando a formarsi negli Stati Uniti d'America il movimento per l'emancipazione razziale, che avrebbe dato voce non solo alle rivendicazioni dei diritti dei neri ma anche a quelle delle tante minoranze, a partire dagli ebrei, che ancora subivano discriminazioni (Campanile, 2018, p. 367).

4. Shannon-Fano Coding

Shannon e Fano definirono due algoritmi di codifica della sorgente che facevano sostanzialmente la stessa cosa ma in modo diverso, pur risultando entrambi efficienti. Essi davano una descrizione efficiente di una sorgente discreta senza memoria, costruendo un codice a prefisso, basato su un insieme di simboli e sulle loro probabilità (stimate o misurate). La caratteristica di univoca decifrabilità garantiva che il decodificatore potesse riconoscere correttamente le stringhe di simboli codificati. Il principio era creare parole codice più corte per i simboli che ricorrevano con maggior frequenza, come descritto nella tabella (Fig. 2). Nonostante fossero diversi, entrambi gli schemi furono identificati con il nome congiunto "Shannon-Fano Coding". Si trattò, in primo luogo, di una confusione indotta dal fatto che nella discussione del suo schema di codifica Shannon menzionò quello di Fano e lo definì "sostanzialmente lo stesso" (Shannon, 1948, p. 17). In secondo luogo, i due algoritmi avevano prestazioni simili. I codici

generati non raggiungevano sempre la lunghezza minima possibile per le parole codice previste, ma si mantenevano comunque entro 1 bit dal valore ottimale. Il metodo di Fano di solito produceva una codifica con lunghezze previste più brevi rispetto a quello di Shannon, mentre quest'ultimo aveva il vantaggio di essere più facile da analizzare teoricamente (Krajčič *et al.*, 2015, pp. 1746-1750).

Dopo il lavoro di Shannon *Communication in the presence of noise*, pubblicato nei "Proceedings of the IRE" del 1949, nel quale l'autore, tra l'altro, dimostrò il teorema del campionamento, le reazioni alla teoria da parte degli ingegneri della comunicazione furono in alcuni casi molto forti e contrarie alla sua accettazione. Esse mirarono a provare, senza successo, che si poteva migliorare l'efficienza della trasmissione riducendo la larghezza di banda. Nella direzione della teoria di Shannon si mossero molti altri e tra gli anni '50 e '60 si ebbe un significativo sviluppo di ricerche sui codici per aumentare l'efficienza di trasmissione e ridurre la probabilità di errore in un dato canale (Pierce, 1973, pp. 6-7). L'interesse per la teoria in ambito ingegneristico fu suggellato dalla nascita, nel 1953, del gruppo professionale di ingegneri elettrici "Group on Information Theory", creato dall'Institute of Radio Engineers, il cui organo d'informazione divenne l'*Information and Control Journal*, che iniziò le pubblicazioni nel 1958 (Gilbert, 1966, p. 152).

Shannon e Fano, insieme ai colleghi nei centri di ricerca dei Bell Telephone Labs e del MIT, tra i quali P. Elias, R. G. Gallager, E. N. Gilbert, R. W. Hamming, I. M. Jacobs, B. Reiffen, D. Slepian e J. M. Wozencraft e i più giovani G. D. Forney e Elwyn Berlekamp, si concentrarono sui codici a blocchi lunghi e sui codici a correzione di errore. Dopo un decennio di lavori molto fruttuosi, il volume di Robert G. Gallager, *Information theory and reliable communication*, 1968 e i due articoli *Lower bounds to error probability for coding on discrete memoryless channels I e II*, a firma di Shannon, Gallager e Berlekamp, rappresentarono una sorta di compendio dei risultati raggiunti.

5. La didattica della teoria dell'informazione

Il decennio dal 1951 al 1961 fu caratterizzato anche dai primi corsi al MIT di "Transmission of information" (course cod. 6.574, 1951), che ebbero come istruttori Fano e Gallager. Fano vantava di aver reclutato nella didattica del MIT l'amico Shannon, (course cod. 6575, "Advanced Topics in Information Theory", 1956), ma quest'ultimo non amava svolgere questa attività con regolarità, perché preferiva organizzare seminari o conferenze sulle tematiche della teoria e del coding, che riscuotevano grande successo (Guizzo, 2003, pp. 59-60). Fano, al contrario, nonostante la nomina a capo del Radar Technique Group, che svolgeva ricerche sulla comunicazione aerea, iniziò a insegnare con grande passione e tenne il corso fino al 1962.

Nel 1951, due allievi del dottorato chiesero di fare una tesina come prova finale del suo corso. Fano assegnò loro il compito di risolvere il problema di trovare il codice binario più efficiente. Uno dei due, David Huffman (1925-1999), quando ormai aveva perso ogni speranza, ebbe l'idea vincente: usare un albero binario costruito sulle frequenze disposte in ordine ascendente. Il suo codice produceva parole di lunghezza più corta rispetto a tutti quelli testati da Fano, Shannon e altri ricercatori. Huffman pubblicò il suo risultato in *A Method for the Construction of Minimum-Redundancy Codes* (1952), in cui provò che il metodo era il più efficiente perché riduceva la ridondanza e generava parole con il numero medio minimo di cifre. Nel 1967, Huffman lasciò il MIT per andare a insegnare all'Università della California, di Santa Cruz, dove fondò la facoltà di informatica e insegnò Teoria dell'informazione e Analisi dei segnali. La sua intuizione, la Codifica di Huffman, dette vita al ramo di ricerca degli algoritmi di compressione per la codifica senza perdita di dati di lunghezza variabile, attualmente ancora usata. Infatti, il risultato decompresso non ricreava una copia perfetta dell'originale ma eliminando selettivamente i dettagli minori, rendeva riconoscibile comunque l'originale.

6. “Passato, presente e futuro della teoria dell’informazione”

Ma come si era propagata questa teoria, come era stata recepita e cosa poteva ancora riservare per il futuro? A queste domande rispose Robert Fano in un articolo del 1954, *Information Theory, Past, Present and Future*, che era una sorta di riflessione su cosa avesse significato la sua formulazione per l’ingegneria delle comunicazioni, per la scienza e per la società in generale e quali ulteriori sviluppi ci si potesse ancora aspettare.

La tesi di Fano era che “la teoria dell’informazione costituiva il culmine di un periodo di transizione in cui il modo di pensare prevalente degli ingegneri della comunicazione era stato radicalmente rivisto” (Fano, 1954, p. 2). La nuova visione dei sistemi naturali o artificiali fornita dalla Cibernetica (1948) di Wiener e i servomeccanismi sperimentati durante la guerra avevano mostrato che gli esseri umani avevano perso la centralità del ruolo di controllori tipica dei sistemi tradizionali ed erano ridotti al ruolo secondario di operatori, pari a quello di altre componenti meccaniche. Questo aveva generato una nuova impostazione nella progettazione dei sistemi e un modo diverso di affrontare i problemi della comunicazione. Oggetto della comunicazione erano ora i “dati” piuttosto che le forme d’onda del suono. Inoltre, le considerazioni statistiche avevano assunto un ruolo primario nello studio di qualsiasi processo di comunicazione (Fano, 1954, p. 3). L’insieme di sviluppi teorici culminati nella teoria della informazione era stato, quindi, causa e conseguenza del nuovo approccio scientifico.

Fano sosteneva, inoltre, un’ipotesi che all’epoca era poco condivisa: l’ampio interesse per i computer digitali era probabilmente dovuto più alla loro utilità come possibili dispositivi di elaborazione dei dati che alla loro funzione di veloci calcolatori numerici.

L’improvvisa ondata di ricerche su varie forme di comunicazione, materialmente stimolate dallo sviluppo della teoria dell’informazione e della cibernetica, aveva agito da catalizzatore e aveva fornito un linguaggio per concetti comuni.

In futuro si aspettava che la teoria dell’informazione avrebbe dato un grande aiuto all’ingegneria e, soprattutto, alla scienza pura. La prima avrebbe tratto vantaggio per risolvere quei problemi che apparivano al momento insormontabili a causa dei limiti tecnologici e, in questo, molta fiducia riponeva nei computer. La seconda avrebbe beneficiato per la comprensione di fenomeni della Natura particolarmente complessi (Fano, 1954, p. 5).

In effetti, la teoria era emersa in un momento in cui l’approccio ai problemi della comunicazione era cambiato dalla ricerca del “come fare”, proprio delle *techné* e dei mestieri, alla ricerca del “perché”. Ciò aveva reso naturale il ricorso alla matematica, alla statistica e alla fisica per costruire solidi principi teorici e creare assiomi generali. Essa aveva fornito così gli strumenti per enunciare i problemi complessi e impostare le soluzioni in qualsiasi ambito in cui ci fosse trasmissione di informazioni.

Nelle parole di Fano possiamo già cogliere la sua intuizione del limite del modello di trasmissione della comunicazione così come descritto inizialmente da Shannon e Weaver e come sarebbe stato successivamente elaborato dai linguisti. E cioè che la comunicazione umana è molto più complessa della semplice trasmissione di messaggi, ha un carattere sociale, poiché si svolge in un sistema socio-culturale e non può prescindere dai significati e dalle interazioni tra gli individui. Egli ne avrebbe avuto conferma negli anni Sessanta, quando la modalità di elaborazione *time-sharing*, avrebbe mostrato che la connessione tra individui attraverso una rete di terminali induceva a riproporre nell’ambiente virtuale comportamenti simili alle dinamiche relazionali del mondo reale (Fano, 1972, p. 3).

7. La divulgazione della teoria

In Europa la teoria dell’informazione arrivò lentamente sulla scia dell’interesse suscitato dalle traduzioni della *Cibernetica* di Wiener. In Italia il libro fu pubblicato nel 1951, ma il primo corso di specializzazione

in teoria dell'informazione si tenne solo nel 1958, organizzato per la Settima Scuola internazionale estiva di Fisica, a Varenna dal 7 al 19 settembre. Il corso, destinato non solo agli studenti ma anche ai docenti come una sorta di aggiornamento, fu fortemente voluto da Edoardo Caianiello (1921-1993), che aveva appena fondato il primo Gruppo di Cibernetica all'Università di Napoli.

Soggetto catalizzatore del corso fu senza dubbio Norbert Wiener, con la sua personalità dirompente, ma insieme a lui giunsero a Como i colleghi del MIT, tra i quali Fano, a illustrare i vari aspetti della trasmissione di informazione. Nella visione di Wiener, pienamente condivisa da Caianiello, il termine cibernetica era usato come sinonimo di teoria dell'informazione, perché dava una visione unitaria dei problemi di comunicazione. La Cibernetica si presentava, infatti, come “un tentativo di sintesi dei rami del sapere”, in controtendenza rispetto alle altre discipline che viravano verso la specializzazione. Caianiello spiegò meglio questa relazione affermando che “oggetto d'indagine della cibernetica è l'informazione” poiché “ciò che viene comunicato [tra le componenti di un sistema complesso quale può essere un organismo vivente oppure una macchina o una società industriale] è un'informazione; la precisazione quantitativa di questo concetto è il punto di partenza della teoria della informazione, che elabora l'apparato matematico necessario agli studi cibernetici” (Caianiello, 1959, p. 343).

Nelle sue lezioni, Robert Fano illustrò la teoria matematica della comunicazione e fece qualche riflessione sul livello di complessità raggiunto della comunicazione rispetto alle origini. Introdusse la sua visione del computer come elaboratore di dati e “servizio” per la società. Confrontò il funzionamento del computer come scatola nera con quello dei sistemi di comunicazione più tradizionali per evidenziare che era possibile analizzare e specializzare ogni componente in maniera dettagliata (Fano, 1959, p. 353).

8. Conclusioni

In conclusione, si può dire che la teoria dell'informazione raggiunse in breve tempo un riscontro positivo nella comunità dei tecnici e degli appassionati di comunicazione ma non ebbe mai la notorietà di altre teorie, che invece, secondo il giornalista di “Fortune”, Francis Bello, avrebbe meritato (Bello, 1953, pp. 136-158). Rimase, infatti, confinata ai margini come tante volte è accaduto agli approcci scientifici innovativi (Floridi, 2024, p. 15). Shannon e Fano furono premiati per il loro lavoro in Information theory con il MIT Claude E. Shannon Award, rispettivamente nel 1973 e nel 1976.

Ma una volta superate le barriere della distanza e del rumore, rimane ancora oggi aperta la questione della misurazione del contenuto dell'informazione, laddove bisogna fare chiarezza sulla definizione di “informazione”, in relazione anche ai vari contesti di trattamento (Floridi, 2024, pp. 55-57).

Bibliografia

- Bello, F. (1953). “The Information Theory”, *Fortune Magazine*, 48(6), pp. 136-158.
- Caianiello, E.R. (1959). “Prolusione”, in *Nuovo Cimento*, 13(Suppl. 2), pp. 343-345.
- Campanile, B. (2013). “Interview with Robert Fano”. Concord, MA (in stampa).
- Campanile, B. (2016). *Vannevar Bush, da ingegnere a tecnologo: la nascita della Società dell'Informazione*. Roma: Aracne.
- Campanile, B. (2018). “Robert Fano e il coraggio di vivere il ‘non luogo’”, *Viaggiatori*, 1(2), pp. 353-386.
- Campanile, B. (2019). “Robert Fano, an Italian Computer Scientist from Project Mac to the Internet”, in Bory, P., Negro, G. & Balbi, G. (eds.), *Computer Network Histories*. Zürich: Chronos, pp. 95-114.
- Chiu, E. et al. (2001). *Mathematical Theory of Claude Shannon*. Per il corso MIT 6.933J/STS.420J The Structure of Engineering Revolutions, disponibile al link [academia.edu](https://ocw.mit.edu/courses/6-933j-sts-420j-the-structure-of-engineering-revolutions/). (Accesso 10 novembre 2024)
- Fano, R.M. (1949). *Technical Report No. 65*, Part I, March 17, pp. 1-34; *Technical Report No. 149*, Part II, February 6, 1950, pp. 1-29, Cambridge: MIT, The Research Laboratory of Electronics.

- Fano, R.M. (1954). "Information Theory, Past, Present and Future", *National Convention Record of the Institute of Radio Engineers*, 2(4), pp. 2-6.
- Fano, R.M. (1959). "The Statistical Theory of Information", *Nuovo Cimento*, 13(Suppl. 2), pp. 353-372.
- Fano, R.M. (1961). *Transmission of Information: a Statistical Theory of Communication*. Cambridge: MIT Press.
- Fano, R.M. (1972). "On the social role of computer communication", *Proceedings of the IEEE*, 60(11), pp. 3-15.
- Floridi, L. (2024). *Filosofia dell'Informazione*. Milano: Raffaello Cortina.
- Gilbert, E.N. (1966). "Information Theory after 18 Years", *Science*, 152(3720), pp.320-326.
- Guizzo, E.M. (2003). *The Essential Message: Claude Shannon and the Making of Information Theory*, thesis of Master of Science in Science Writing at MIT, pp. 1-77.
- Krajči, S. *et al.* (2015). "Performance analysis of Fano coding", *IEEE International Symposium on Information Theory*, Hong Kong, China, pp. 1746-1750.
- Norberg, A.L. (1989). "An Interview with Robert M. Fano", Cambridge, MA, 20-21 April. University of Minnesota Libraries, Charles Babbage Institute, disponibile al link umn.edu. (Accesso 10 novembre 2024).
- Pierce, J.R. (1973). "The early days of Information Theory", *IEEE Transactions on Information Theory*, IT-19(1), pp. 3-8.
- Rus, D. (2019). "Robert M. Fano 1917-2016", *Memorial Tributes of the National Academy of Engineering*, 22, pp. 95-98.
- Shannon, C.E. (1948). "A mathematical theory of communication", *The Bell System Technical Journal*, 27(3), pp. 379-423.
- Verdù, S. (2013). "A conversation with Robert Fano (Concord, MA, June 14, 2013)", *IEEE Information Theory Society Newsletter*, 63(3), pp. 6-9.
- Verdù, S. (1998). "Fifty years of Shannon theory", *IEEE Transactions on Information Theory*, 44(6), October, pp. 2057-2078.
- Weaver, W. (1949). "The Mathematics of Communication", *Scientific American*, 181(1), pp. 11-15.

